



Francisco Miguel Marques Martins

Licenciado em Engenharia Civil

**Novas utilizações das potencialidades BIM – produção
de informação as-built e apoio à medição de trabalhos
realizados com recurso a Realidade Aumentada**

Dissertação para obtenção do Grau Mestre em
Engenharia Civil – Perfil de Construção

Orientador: Nuno Cachadinha, Professor Doutor, FCT-UNL

Júri da Prova de Mestrado:

Presidente: Professor Doutor Válder Lúcio, FCT-UNL

Vogais: Professor Doutor António Aguiar Costa, UTL-IST (Arguente)

Professor Doutor Nuno Cachadinha, FCT-UNL (Orientador)



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Março de 2014



Francisco Miguel Marques Martins

Licenciado em Engenharia Civil

**Novas utilizações das potencialidades BIM – produção
de informação as-built e apoio à medição de trabalhos
realizados com recurso a Realidade Aumentada**

Dissertação para obtenção do Grau Mestre em
Engenharia Civil – Perfil de Construção

Orientador: Nuno Cachadinha, Professor Doutor, FCT-UNL



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Março de 2014

‘Copyright’ Francisco Miguel Marques Martins, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

A elaboração deste trabalho só foi possível graças ao apoio de um grupo de pessoas que, de uma forma ou de outra, deram o seu contributo.

Quero destacar, em primeiro lugar, o meu orientador, o Professor Doutor Nuno Cachadinha, porque sempre acreditou em mim e na minha capacidade em levar a bom porto este estudo, apesar dos contratemplos que foram surgindo e que por diversas vezes adiaram a conclusão do mesmo.

Seguidamente, quero agradecer à minha família, em particular aos meus pais, por me terem proporcionado uma educação académica de excelência, que culminou com a presente dissertação. Por diversas vezes privaram-se de ter uma vida melhor para que eu pudesse continuar a estudar, e foram por isso um pilar fundamental neste percurso.

Depois, importa realçar o papel determinante que todos os alunos que pertenceram à equipa de teses do Professor Doutor Nuno Cachadinha tiveram, mostrando-se sempre disponíveis para ajudar. Todos foram importantes, desde os primeiros membros aos mais recentes, no entanto quero destacar os colegas Paulo Taborda, José Clemente, João Patacas, João Parreira e Pedro Pereira, pois foi com eles que partilhei a maior parte do tempo na equipa.

Para finalizar, gostaria de agradecer à minha namorada, Cátia Silva, por ter sido capaz de me motivar na fase final do trabalho, e por ter sido muitas vezes privada da minha companhia para que eu pudesse concluir o trabalho.

RESUMO

As vantagens na utilização de modelos *Building Information Modeling* (BIM) tridimensionais (3D) na fase de exploração das construções têm sido estudadas nos últimos anos. Sabe-se que as operações de manutenção e reparação podem ser feitas de forma mais rápida e menos dispendiosa utilizando modelação BIM. Porém, o sucesso destas operações é influenciado pela capacidade de o modelo BIM reproduzir fielmente a realidade. Surge, assim, a necessidade de obter modelos actualizados que consigam representar de forma precisa o que foi construído, designados por modelos *as-built*. No entanto, uma vez criado na fase de projecto, o modelo BIM permanece quase sempre inalterado até ao final da obra, ignorando todo um conjunto de alterações que, por variadas razões, são introduzidas ao projecto inicial.

O presente estudo apresenta um modelo conceptual que tem por objectivo contribuir para resolver o problema da actualização dos modelos BIM durante a fase de construção. O modelo integra um método para detectar e registar alterações aos projectos de construção, que tem por base a produção de autos de medição apoiados em quantidades extraídas dos modelos BIM, com a Realidade Aumentada (RA) a permitir a visualização do modelo sobre o ambiente real. Essa é, aliás, uma característica fundamental para a identificação de alterações. As alterações registadas são depois utilizadas para actualizar os modelos BIM.

De acordo com o proposto neste trabalho, os autos de medição dependerão do modelo BIM. Isso levará a que seja do interesse do empreiteiro e do dono de obra manter o modelo actualizado. Aplicados os procedimentos do modelo, identificam-se vantagens na medição de quantidades. As operações de medição passam a ter uma menor dependência do operador, sendo os erros e imprecisões reduzidos, ao mesmo tempo que essa tarefa é desempenhada de forma mais rápida. Além disso, uma vez que o modelo prevê a utilização do mesmo modelo BIM por todos os intervenientes, reduzem-se também as divergências nas quantidades apuradas.

Termos chave: *Building Information Modeling*, Fase de Exploração, Modelos *As-Built*, Autos de Medição, Realidade Aumentada

ABSTRACT

The usage of tridimensional (3D) Building Information Modeling (BIM) based models in the post construction phase has been previously studied. Today, it is known that operation and maintenance tasks can be faster and cheaper using BIM. Still, this depends on the capability of the BIM model to accurately reproduce the built objects. Thus, it is necessary to have updated models, which can be able to represent all the details of the construction project. These models are called as-built models.

The BIM model is created in the design phase. However, it stays unchanged until the end of the construction phase, neglecting all the modifications that, for many reasons, are made to the project. This study presents a conceptual framework towards contributing to solve this problem. The framework contains a method to identify and record project changes, supported by an Augmented Reality and BIM based quantity takeoff approach. The quantities taken from the model are used to produce the Bill of Quantities. The use of Augmented Reality allows for the superimposition of the BIM model upon the reality of the work front, and, is a crucial tool to identify project changes. These changes are recorded and used to update the BIM model.

The proposed framework establishes that the Bill of Quantities must be derived from the BIM model, thus guaranteeing that the model update is a priority to the project owner and to the contractor. In addition, this framework is less dependent on human operators. The Augmented Reality and BIM based quantity takeoff method allows several benefits in the measuring process, such as time savings, increased accuracy and error reduction. Finally, measurement conflicts are reduced, since project owner and contractor share and agree on one and the same BIM model.

Keywords: Building Information Modeling, Post Construction Phase, As-Built Models, Bill of Quantities, Augmented Reality

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

BIM – *Building Information Modelling*

RA – Realidade Aumentada

AEC – Arquitetura Engenharia e Construção

CAD – *Computer Assisted Design*

3D – Tridimensional

2D – Bidimensional

MQT – Mapa de Quantidade de Trabalhos

BDP – Base de Dados Previsto

BDR – Base de Dados Realizado

4D – 4 dimensões

CIFE - Center for Integrated Facility Engineering

ICT - Tecnologia de Informação e Comunicação

IFC - *Industry Foundation Classes*

HMD - *Head-Mounted Display*

TIC - Tecnologias de Informação e Comunicação

WBS – *Work Breakdown Structure*

CSRMC – Curso Sobre Regras de Medição na Construção – Portugal

SMM7 – *Standard Method of Measurement 7th edition* - Reino Unido

CESMM3 – *Civil Engineering Standard Method of Measurement 3rd edition*

DIN – *Deutsches Institut für Normung*

NBN B 06-001 - *Belgium Standards Institute*

LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil

SSADM - *Structured Systems Analysis and Design Methodology*

DFD - Diagramas de Fluxo de Dados

FCT-UNL – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

5D – 5 dimensões

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1.	MOTIVAÇÃO	1
1.2.	PROBLEMÁTICA.....	3
1.3.	HIPÓTESES DE ESTUDO	4
1.4.	OBJECTIVOS PARCELARES	5
1.5.	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	6
2.	ESTADO DO CONHECIMENTO.....	7
2.1.	O BIM	7
2.1.1.	<i>Enquadramento do conceito</i>	<i>7</i>
2.1.2.	<i>A evolução do 2D para os modelos BIM</i>	<i>8</i>
2.1.3.	<i>O BIM e a visualização 3D do workflow.....</i>	<i>10</i>
2.1.4.	<i>Potencialidades do BIM na medição da produção em construção</i>	<i>11</i>
2.1.5.	<i>Informação as-built</i>	<i>13</i>
2.1.6.	<i>Utilização do BIM na fase de exploração das construções.....</i>	<i>15</i>
2.2.	REALIDADE AUMENTADA	17
2.2.1.	<i>Enquadramento do conceito</i>	<i>17</i>
2.2.2.	<i>Utilização na indústria</i>	<i>19</i>
2.2.3.	<i>Utilização no ensino</i>	<i>21</i>
2.2.4.	<i>Potencialidades de utilização da RA na construção</i>	<i>22</i>
2.2.5.	<i>RA e BIM</i>	<i>24</i>
2.3.	MEDIÇÃO DA PRODUÇÃO NA CONSTRUÇÃO	28
2.3.1.	<i>Enquadramento e método tradicional</i>	<i>28</i>
2.3.2.	<i>Regras de medição.....</i>	<i>31</i>
2.3.3.	<i>Utilização de sistemas automáticos.....</i>	<i>32</i>
3.	METODOLOGIA.....	37
3.1.	FERRAMENTA DE INVESTIGAÇÃO	37
3.2.	ETAPAS DO SSADM.....	38
3.2.1.	<i>Etapa 0 – Estudo de Viabilidade</i>	<i>38</i>
3.2.2.	<i>Etapa 1 - Investigação do Sistema Actual</i>	<i>38</i>
3.2.3.	<i>Etapa 2 - Opções do Sistema Organizacional.....</i>	<i>38</i>
3.2.4.	<i>Etapa 3 – Definição dos Requisitos.....</i>	<i>39</i>
3.2.5.	<i>Etapa 4 – Opções Técnicas do Sistema</i>	<i>39</i>

3.2.6.	<i>Etapa 5 – Desenho Lógico</i>	39
3.2.7.	<i>Etapa 6 – Desenho Físico</i>	39
3.2.8.	<i>Aplicação do SSADM</i>	39
4.	PROPOSTA DE MODELO	41
4.1.	DEFINIÇÃO DO MODELO.....	41
4.2.	MODELO BIM COM LIGAÇÃO AO MQT	42
4.3.	BASE DE DADOS PREVISTO (BDP)	44
4.4.	MEDIÇÃO DE QUANTIDADES E BASE DE DADOS REALIZADO (BDR)	46
4.5.	AUTOS DE MEDIÇÃO.....	49
4.6.	IDENTIFICAÇÃO DE ALTERAÇÕES	51
4.7.	ACTUALIZAÇÃO DO MODELO BIM E MODELO BIM <i>As-BUILT</i> FINAL	54
5.	ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	57
5.1.	MODELO – ANÁLISE GERAL.....	57
5.2.	MODELO BIM COM LIGAÇÃO AO MQT	58
5.3.	BASES DE DADOS E MEDIÇÃO DE QUANTIDADES	60
5.4.	AUTOS DE MEDIÇÃO.....	63
5.5.	IDENTIFICAÇÃO DE ALTERAÇÕES	64
5.6.	ACTUALIZAÇÃO DO MODELO BIM E MODELO BIM <i>As-BUILT</i> FINAL	66
6.	CONCLUSÕES	69
6.1.	MOTIVAÇÃO E PROBLEMÁTICA	69
6.2.	INTERESSE DOS INTERVENIENTES NA UTILIZAÇÃO DO MODELO.....	70
6.3.	LIGAÇÃO MODELO BIM AO MQT.....	71
6.4.	MEDIÇÃO DE QUANTIDADES E DETECÇÃO DE ALTERAÇÕES	71
6.5.	ACTUALIZAÇÃO DO MOLDEO BIM E MODELO BIM <i>As-BUILT</i> FINAL.....	72
6.6.	CUMPRIMENTO DOS OBJECTIVOS	72
6.7.	FUTUROS CAMPOS DE PESQUISA	73
7.	BIBLIOGRAFIA	75

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - COMPARAÇÃO ENTRE VÁRIOS SISTEMAS DE RECOLHA DE INFORMAÇÃO EM OBRA (HEGAZY E ABDEL-MONEM, 2012)	14
TABELA 2 - TIPOS DE ALTERAÇÕES AOS PROJECTOS DE CONSTRUÇÃO	52

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 - O BIM E OS INTERVENIENTES NO PROCESSO CONSTRUTIVO (BLUENTCAD, 2014)	8
FIGURA 2.2 - UTILIZAÇÃO DE DESENHOS 2D NA GESTÃO DE UMA OBRA (AXIACON, 2014)	8
FIGURA 2.3 - MODELO BIM VS INFORMAÇÃO 2D (GRAPHISOFT, 2014)	9
FIGURA 2.4 - SOFTWARE NAVISWORKS BIM 4D (MRASBUILT, 2014).....	10
FIGURA 2.5 - BENTLEY SCHEDULE SIMULATOR (BENTLEY, 2014)	11
FIGURA 2.6 - TABELAS DE QUANTIDADES DOS PROGRAMAS REVIT (ESQUERDA) E ARCHICAD (DIREITA) (MONTEIRO E MARTINS, 2013)	12
FIGURA 2.7 - AUTODESK QUANTITY TAKEOF (AUTODESK, 2013).....	13
FIGURA 2.8 - ANEXO DE INFORMAÇÃO A UM ELEMENTO 3D DO MODELO BIM (GEODERT E MEADATI, 2008)	14
FIGURA 2.9 - ESQUEMA PROPOSTO DE UTILIZAÇÃO DO MODELO BIM EM OBRA (CLEMENTE E CACHADINHA, 2012).....	16
FIGURA 2.10 - SOTWARE NUCLEOUS6D (NUCLEOUS6D, 2010)	17
FIGURA 2.11- APLICAÇÃO DE RA (SEM MARCADORES) NUM DISPOSITIVO MÓVEL (ONBILE, 2012)	18
FIGURA 2.12 - EXEMPLO DE APLICAÇÃO DE RA COM RECURSO A MARCADORES (AEROMETREX, 2014).....	18
FIGURA 2.13 - APLICAÇÃO DE REALIDADE AUMENTADA DA IKEA (IKEA, 2014)	19
FIGURA 2.14 - GOOGLE GLASS (GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY, 2014)	19
FIGURA 2.15 - UTILIZAÇÃO DO GOOGLE GLASS EM CIRURGIA PEDIÁTRICA (MUENSTERER <i>ET.AL</i> , 2014).....	20
FIGURA 2.16 - AVALIAÇÃO DE ENSINO COM RECURSO A RA. METODOLOGIA SEGUIDA (REDONDO <i>ET.AL</i> , 2013)	21
FIGURA 2.17 - ENSINO ATRAVÉS DE RA (SCHOOLHUB, 2012)	22
FIGURA 2.18 - RA COMO FERRAMENTA DE APOIO À CONSTRUÇÃO (BDCNETWORK, 2013).....	23
FIGURA 2.19 - UTILIZAÇÃO DO INFOSPOT DURANTE O ESTUDO DE IRIZARRY <i>ET AL.</i> (2013)	24
FIGURA 2.20 - VISUALIZAÇÃO DE MODELO BIM EM AMBIENTE REAL (JIAO <i>ET AL.</i> , 2013).....	25
FIGURA 2.21 - MOLDEO 3D SOBREPOSTO AOS DESENHOS 2D (WANG <i>ET AL.</i> , 2014)	26
FIGURA 2.22 - CARACTERÍSTICAS ASSOCIADAS AOS ELEMENTOS (WANG <i>ET AL.</i> , 2014)	26
FIGURA 2.23 - SEQUÊNCIA PARA A INSTALAÇÃO DE CANALIZAÇÕES (WANG <i>ET AL.</i> , 2014)	27
FIGURA 2.24 - LOCALIZAÇÃO DE UMA VÁLVULA EMBUTIDA NA PAREDE (WANG <i>ET AL.</i> , 2014) ...	27
FIGURA 2.25 - MEDIÇÃO DE DISTÂNCIA COM RECURSO A MEDIDOR DE LASER (BOSH, 2014)	29
FIGURA 2.26 - DIAGRAMA DE GANTT REPRESENTANDO UMA WBS (SIQUEIRA, 2000)	30
FIGURA 2.27 - REGRAS DE MEDIÇÃO NA CONSTRUÇÃO (LNEC, 2013).....	32

FIGURA 2.28 - SISTEMA DE SCAN DE LASER (RUDI.NET, 2014)	33
FIGURA 2.29 - COLOCAÇÃO DE ALVOS NO SISTEMA DE FOTOGRAMETRIA (EL-OMARI E MOSELHI, 2008)	34
FIGURA 2.30 - SISTEMA DE LEITURA DE RADIOFREQUÊNCIA (INTERNATIONAL CODING TECHNOLOGIES INC. , 2014).....	34
FIGURA 3.1 - METODOLOGIA E APLICAÇÃO DO SSADM	40
FIGURA 4.1- VISÃO GERAL DO MODELO	42
FIGURA 4.2 – LIGAÇÃO DO MODELO BIM AO MQT. ADAPTADO DE ARQUIMEDIA (2013)	43
FIGURA 4.3 – PORTA MODELADA COM PORMENOR DA FECHADURA (LEADERFLUSH, 2014).....	44
FIGURA 4.4 – BASE DE DADOS PREVISTO	45
FIGURA 4.5 – PARÂMETROS QUE DEFINEM UM ELEMENTO	46
FIGURA 4.6 - SOBREPOSIÇÃO DO MODELO BIM COM A REALIDADE (BALAKRISHNA, 2013).....	47
FIGURA 4.7 - CONFIRMAÇÃO DO ELEMENTO SELECCIONADO.....	47
FIGURA 4.8 - CONFIRMAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS	48
FIGURA 4.9 - INTRODUÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS	48
FIGURA 4.10 - INDICAÇÃO DE CONCLUSÃO DO ELEMENTO.....	48
FIGURA 4.11- SELECÇÃO DE ÁREA DE ELEMENTO CONCLUÍDO	49
FIGURA 4.12 - ELEMENTO DA BASE DE DADOS REALIZADO	49
FIGURA 4.13 - PREENCHIMENTO DOS AUTOS DE MEDIÇÃO.....	51
FIGURA 4.14 - COMPARAÇÃO DA BDP COM A BDR	52
FIGURA 4.15 - LISTA DE ALTERAÇÕES COM EXEMPLO DE ALTERAÇÕES DO TIPO 1	53
FIGURA 4.16 - LISTA DE ALTERAÇÕES COM EXEMPLO DE ALTERAÇÕES DO TIPO 3	54

1. INTRODUÇÃO

1.1. Motivação

A baixa produtividade tem sido ao longo dos anos apontada como um ponto fraco do sector da construção. Segundo Park *et al.* (2012), a taxa de produtividade na construção tende a ser menor do que nas outras indústrias. Nos últimos anos tem-se assistido a um aumento da utilização de novas tecnologias no sector da Arquitectura, Engenharia e Construção (AEC), no entanto alguns processos pouco evoluíram e continuam a fazer-se da mesma forma. Um dos processos onde a tecnologia tarda em encontrar soluções que realmente satisfaçam as necessidades do sector é a medição da produção em obra. Apesar de 30% a 50% do tempo de trabalho de um engenheiro de fiscalização e direcção de obra ser gasto na recolha de informação para monitorização do progresso da obra, poucos têm sido os avanços no sentido de reduzir o tempo de recolha dessa mesma informação (Navon e Sacks, 2007).

A medição de quantidades em obra é uma das tarefas mais importantes em todo o processo construtivo, uma vez que é a base de muitas outras tarefas – os elementos são medidos e estas quantidades são depois utilizadas para estimar o seu custo e progresso de execução. Esta informação é posteriormente introduzida em documentos habitualmente designados por Mapas de Quantidade de Trabalhos (MQT). Este tipo de documentos estrutura e organiza a informação relativa a medições de quantidades, progresso da obra e controlo de custos (Monteiro e Martins, 2013). Apesar de existirem algumas soluções recentes para a recolha automática de informação em obra, como os sistemas de scan de laser, o facto de serem sistemas caros, de necessitarem de várias medições e ainda por serem métodos estáticos (Kim *et al.*, 2013), faz com que tenham ainda pouca aceitação na indústria. Assim, a recolha de informação em obra continua a fazer-se, quase sempre, de forma manual, através da observação de um técnico humano. O processo manual de recolha de informação em obra apresenta deficiências, que foram identificadas por Navon (2007):

- trabalho de recolha intensivo;
- grande dependência de desenhos e bases de dados;
- informação recolhida manualmente é de baixa qualidade e podem ocorrer erros graves.

Reforçando estas conclusões, Golparvar-Fard *et al.* (2009) refere que a medição e monitorização de obra necessita de demasiado tempo e informação para ser exacta, pelo que a recolha da informação relativa à evolução de obra também é um problema, pois depende da interpretação do técnico que inspeccionou determinado elemento, tornando a informação recolhida subjectiva. Para a realização de um determinado processo construtivo, é necessário envolver um conjunto de

entidades muito heterogéneo, tais como o Dono de Obra, Projectista, Empreiteiro e Fiscalização. Esta heterogeneidade leva à existência de conflitos em variados níveis, nomeadamente no que se refere às regras a utilizar nas medições dos trabalhos de construção quando estas não estão definidas no caderno de encargos da obra (Mestre, 2010). Monteiro e Martins (2013) referem ainda que a medição de quantidades feita de forma precisa e fiável é determinante para um correto balanço financeiro por parte do dono de obra, sendo ainda essencial para conseguir uma análise correcta da produtividade em obra, bem como dos diferentes custos associados ao projecto. Por estas razões, a existência de tecnologia que, por um lado, reduza o tempo na recolha de informação mas, por outro, consiga ser preciso, fiável, e que seja aceite por todos os intervenientes no processo construtivo, é um dos desafios atuais para a investigação no sector da construção.

Young *et al.* (2009) indicam que durante o ciclo de vida de um edifício, cerca de 2 a 7% dos custos correspondem a concepção e projeto, 10 a 15% a construção e execução de obra e o restante, cerca de 65 a 80%, corresponde a exploração e manutenção. Tendo em conta que a maioria dos recursos financeiros são utilizados em exploração e manutenção, a necessidade de aperfeiçoar este tipo de operações, com vista à redução de custos, é hoje uma necessidade compreendida por todos.

Uma das principais características de um modelo *Building Information Modelling* (BIM) é o seu sistema de modelação 3D acompanhado de gestão, partilha e troca de dados durante o ciclo de vida útil do edifício (Vanlande *et al.*, 2008). Por serem bastante ricos em informação, os modelos BIM são cada vez mais uma realidade na fase de exploração dos edifícios. Clemente e Cachadinha (2012), identificaram os benefícios da utilização de um modelo BIM como ferramenta de suporte a operações de manutenção e reparação num edifício público de grande utilização. No entanto, o potencial da utilização do BIM está intrinsecamente ligado à riqueza dos modelos, e à forma como eles conseguem reproduzir de forma fiel a realidade. Goedert e Meadati (2008) referem que a eficiência na gestão de instalações, na fase pós-construção, depende da disponibilidade de modelos ou desenhos *as-built* precisos.

Durante o ciclo de vida de um edifício é frequente efectuarem-se alterações ao projecto inicial. As alterações podem ser de vários tipos, sendo frequente a substituição de materiais. A variação geométrica de elementos é também inevitável durante a fase de construção (Goedert e Meadati, 2008). Será pois fundamental que as alterações sejam sempre representadas nos modelos BIM, e deste modo tenhamos esses mesmos modelos sempre actualizados (modelos *as-built*), capazes de ser utilizados com toda a segurança na fase de exploração.

Embora as vantagens na utilização de modelos BIM 3D sejam bem conhecidas durante a fase pré-construção, esses benefícios reduzem-se de forma drástica nas restantes fases do ciclo de vida do projecto devido à deficiente recolha de informação (Goedert e Meadati, 2008).

Embora a indústria da construção seja conhecida pela baixa produtividade, como acima se referiu, não restam hoje dúvidas que o uso das novas tecnologias é o caminho a seguir na tentativa

de melhorar a eficiência dos processos. Concretamente, a tecnologia da Realidade Aumentada (RA) é um dos recursos com maior potencial de oferecer ao sector AEC uma vasta gama de aplicações que trarão valor acrescentado (Okeil, 2010). Vários estudos demonstram que a utilização de RA na construção começa a dar os primeiros passos, como por exemplo em estruturas subterráneas (Roberts *et al.*, 2002), na construção e inspecção de elementos arquitectónicos (Webster *et al.*, 1996) (Hammad *et al.*, 2002), no planeamento urbano (Shen *et al.*, 2001) e no acompanhamento do progresso da obra (Hakkarainen *et al.*, 2010).

Por terem vários pontos de contacto, onde desde logo se destaca a visualização 3D, a tecnologia BIM surge cada vez mais associada à RA. Wang *et al.* (2012), desenvolveu uma plataforma conceptual que estabelece os requisitos necessários para a interligação destas duas tecnologias.

1.2. Problemática

Frequentemente, a medição de quantidades em obra é um processo manual que consiste em medir diferentes elementos, utilizando como auxílio os documentos existentes e que podem ser plantas, alçados, cortes, e outras peças desenhadas. Sendo baseada na interpretação de um operador humano, esta abordagem é propícia a erros. Para além disso, os documentos baseados em informação 2D, quer sejam produzidos manualmente, ou com a ajuda de ferramentas CAD, são igualmente propícios em gerar erros de interpretação. É muito difícil com este tipo de documentos exemplificar, de forma clara, por exemplo, a ligação entre vários elementos construtivos (por exemplo a ligação entre uma viga, uma coluna, uma parede e uma laje) (Monteiro e Martins, 2013). As regras de medição são outro dos factores cruciais quando se discute a problemática da medição de quantidades. Monteiro e Martins (2013) referem que em Portugal, como em muitos outros países, não existem regras oficiais de medição, o que contribui para que cada interveniente utilize os seus próprios procedimentos.

Uma dos procedimentos mais importantes que pode ser realizado através da tecnologia BIM é a medição de quantidades. Um modelo BIM é constituído por diversos objectos, cada um com propriedades diferentes, sendo uma delas as dimensões geométricas dos elementos. A maioria das aplicações informáticas baseadas em BIM possui actualmente ferramentas que permitem calcular quantidades de materiais, áreas, volumes, e outros parâmetros definidos pelo utilizador. A utilização de ferramentas BIM permite deste modo recolher informação de forma mais simples e detalhada, aumentado a fiabilidade e rapidez na execução dos autos de medição (Tiwari *et al.*, 2009).

Um modelo BIM 4D (3D + tempo) é formado através da combinação de um modelo 3D com actividades e informação temporal. Em 1996, o Center for Integrated Facility Engineering (CIFE), da Universidade de Standford, nos Estados Unidos, utilizou pela primeira vez o conceito 4D. Comparativamente aos modelos 3D, os modelos 4D adicionaram o conceito de tempo ao

tradicional modelo 3D, tornando possível visualizar os cronogramas da construção em ambiente 3D (Wang *et al.*, 2004). Nos últimos anos vários avanços foram feitos na área do 4D, e é hoje possível, em tempo real, realizar a comparação entre *as-planned* e *as-built*, ou seja, realizar uma comparação entre o que está efectivamente construído e o que o cronograma de planeamento indica que deveria estar construído. Desta forma é possível em qualquer momento perceber se os trabalhos estão atrasados ou avançados relativamente ao planeamento. Kim *et al.* (2013) desenvolveu um sistema automático de medição do progresso de obras através da comparação entre um modelo BIM 4D e informação 3D recolhida no local da obra através de tecnologia de detecção remota (varrimento de laser). Uma vez que a medição do progresso neste tipo de sistemas é feita através da percentagem de elementos concluídos, ao mesmo tempo que é determinado o progresso dos trabalhos, medem-se igualmente quantidades que podem servir para alimentar os autos de medição. No entanto, o facto de a informação recolhida por estes sistemas não ser ainda muito precisa e fiável, bem como facto de serem sistemas caros, faz com que cada vez mais a investigação aponte a RA como o caminho a seguir em detrimento dos sistemas de varrimento de laser e outros semelhantes.

Depois de Wang *et al.* (2012) terem desenvolvido uma plataforma conceptual que estabelece os requisitos necessários para a interligação entre BIM e RA, e como resposta às dificuldades identificadas por diversos autores na recolha de informação através dos sistemas de varrimento de laser, Grazina e Cachadinha (2013) definiram uma plataforma conceptual que identifica os requisitos necessários para um sistema de monitorização do progresso de obras com recurso a RA aplicada a BIM, e posterior actualização do planeamento. No entanto, todos estes sistemas apresentam uma característica em comum: a comparação entre o *as-planned* e o *as-built* assenta, até aqui, no pressuposto de que o que é construído será igual ao que foi planeado, e por isso são descuradas as alterações que quase sempre estão associadas aos projectos de construção.

Por tudo isto, a presente dissertação pretende dar resposta à seguinte questão de investigação:

Pode a produção de autos de medição com recurso a BIM e RA funcionar como garantia de actualização dos modelos BIM no decurso da fase de construção, reduzindo ao mesmo tempo os conflitos resultantes da medição de quantidades?

1.3. Hipóteses de Estudo

A utilização dos modelos BIM na fase de exploração das construções, estudado entre outros investigadores por Clemente e Cachadinha (2012), permite reduzir o tempo das intervenções, ao mesmo tempo que as torna mais eficientes e menos dispendiosas. Para que isso aconteça é fundamental que os modelos BIM sejam tão fiéis à realidade quanto possível, contendo ao mesmo tempo o máximo de informação relevante para executar com sucesso as tarefas de manutenção e reparação. Como também é referido na literatura, a actualização dos modelos BIM não é

verificada, e na maioria dos casos o modelo permanece inalterado desde que é concebido na fase de projecto até ao final da fase de construção (Goedert e Meadati, 2008). Assim, o presente trabalho pretende encontrar mecanismos válidos que sejam a garantia de que os modelos BIM são actualizados no decorrer da fase de construção. O mecanismo proposto será a realização automática de autos de medição a partir de modelos BIM, com quantidades apuradas através da tecnologia de RA. Sabe-se hoje que, embora a tecnologia não esteja ainda suficientemente desenvolvida, a medição de quantidades através de BIM e RA será possível a breve prazo, sendo que as bases para um processo desse tipo foram definidas por Grazina e Cachadinha (2013).

Deste modo, as hipóteses de estudo da presente dissertação são:

- 1- A produção de autos de medição com quantidades obtidas através de BIM e RA é um processo rápido, fiável, e preciso;
- 2- A medição de quantidades com recurso a RA e BIM permite identificar alterações ao projecto e registá-las;
- 3- Os modelos BIM podem ser actualizados, ou seja, transformados em *as-built*, a partir da lista de alterações ao projecto realizadas também em fase de produção;
- 4- A produção de autos de medição com quantidades extraídas exclusivamente do modelo BIM obriga a que seja do interesse tanto do dono de obra, como do empreiteiro, manter o modelo actualizado.

1.4. Objectivos Parcelares

O objectivo da presente dissertação é propor um modelo conceptual que contribua para a definição de um método de detecção de alterações aos projectos de construção, através da produção de autos de medição com recurso a RA e BIM, garantindo assim que os modelos BIM são actualizados no decorrer da fase de construção, ao mesmo tempo que são reduzidos os conflitos entre os intervenientes no processo construtivo relacionados com a medição de quantidades.

Foram assim definidos os seguintes objectivos parcelares:

- 1- Medir as quantidades em obra com recurso a BIM e RA;
- 2- Comparar os elementos reais (construídos) com os elementos presentes no modelo BIM, através de RA;
- 3- Identificar e registar as alterações ao projecto, tendo por base a comparação feita no ponto anterior;
- 4- Actualizar os modelos BIM com as alterações identificadas;

1.5. Estrutura da Dissertação

A presente dissertação está dividida em 6 capítulos, tendo alguns deles diversos subcapítulos.

No capítulo 1 foram abordados quatro temas. O primeiro deles, a motivação, teve como objectivo encontrar na bibliografia os motivos que sustentam este estudo. Depois, a problemática resumiram-se os principais desenvolvimentos que já existem relacionados com o tema do estudo, dando assim espaço á formulação da questão de investigação. Seguiram-se as hipóteses de estudo e os objectivos parcelares a cumprir.

No capítulo 2 será efectuada uma revisão bibliográfica que onde várias temáticas relacionadas com BIM e RA serão abordadas, assim como os diversos aspectos associados à medição da produção em obra.

O capítulo 3 apresenta a metodologia utilizada na investigação, e no capítulo 4 será proposto o processo automático de detecção de alterações aos projectos de construção.

No capítulo 5 serão analisados e discutidos os resultados, e no capítulo 6 serão apresentadas as conclusões, bem como as propostas para futuros desenvolvimentos.

2. ESTADO DO CONHECIMENTO

2.1. O BIM

2.1.1. Enquadramento do conceito

Em meados dos anos 90, um novo conjunto de projectos na área ICT (Tecnologia de Informação e Comunicação) associados ao sector da Engenharia, Arquitectura e Construção (AEC), começaram a desenvolver sofisticados sistemas CAD onde era possível, para além da informação vectorial, enriquecer os modelos 3D dos edifícios e estruturas com dados complementares como características físicas, custos, quantidades de matérias necessárias, etc.. Este tipo de sistemas passaram então a denominar-se por Building Information Modeling (BIM).

Building Information Models são sistemas de visualização 3D dos projectos de construção que permitem armazenar em cada elemento desenhado um conjunto significativo de informações, fazendo destes modelos ferramentas muito completas de visualização e obtenção de dados relativos ao projecto. Um sistema BIM é um quadro digital que modela os componentes de um edifício e as suas relações, e é projectado para digitalizar informação completa sobre o edifício, no sentido de esta não se perder de uma fase do projecto para outra, ou de um interveniente para outro (Hu *et al.*, 2008).

Apesar de estabelecida no mundo académico desde então, a utilização do BIM em projectos da vida real só teve impacto por volta do ano 2000, em alguns projectos-piloto e depois em projectos de maior envergadura (Grilo e Jardim-Goncalves, 2010).

Para que se perceba o incremento que a utilização dos sistemas BIM teve nos últimos anos, refira-se que o número de projectos-piloto com recurso à utilização do BIM desenvolvidos pelo CIFE, da Universidade de Standford, nos Estados Unidos, aumentou de um por ano entre 1997 e 2001, para seis projectos só no ano de 2006 (Hartmann e Fischer, 2007).

Através dos sistemas BIM, é possível que os vários intervenientes no projecto possam trabalhar na mesma plataforma, e deste modo minimiza-se o risco de incompatibilidades no projecto. Em qualquer altura os sistemas BIM permitem aos intervenientes no projecto inserir, extrair, actualizar ou modificar a informação contida nos modelos.

A figura 2.1 mostra os diversos intervenientes no processo construtivo unidos em torno do modelo BIM.



Figura 2.1 - O BIM e os intervenientes no processo construtivo (Bluentcad, 2014)

2.1.2. A evolução do 2D para os modelos BIM

Durante séculos, os arquitectos têm utilizado desenhos e modelos físicos para explicar as suas ideias e visões de um projecto aos que necessitam de o aprovar e construir. No entanto os sistemas 2D transportam consigo uma série de limitações e problemas. Primeiro, porque restringe o pensamento dos arquitectos devido à necessidade da existência de uma convenção entre o pensamento e os desenhos. Depois, os desenhos 2D ainda continuam a ser pouco claros para os donos de obra, considerando que o *design* apresentado e as exigências feitas por si continuam ainda muito distantes. Em terceiro lugar, na fase de planeamento, a análise de trabalhos a efectuar tem de ser feita de forma independente do projecto de arquitectura, e de uma forma bastante demorada (Yang e Wang, 2009).



Figura 2.2 - Utilização de desenhos 2D na gestão de uma obra (Axiakon, 2014)

Deste modo, perde-se a oportunidade de comunicar com o arquitecto, em tempo útil, a necessidade de se proceder a alterações ao projecto inicial (Wang *et al.*, 2004). Outra das desvantagens dos sistemas 2D tem que ver com a interpretação dos desenhos. O uso de desenhos 2D e representações à mão livre pode conduzir a variadas interpretações (Hartmann e Fischer, 2007). O aparecimento de ferramentas BIM veio revolucionar por completo a forma como os projectos de construção são geridos. Em primeiro lugar, o BIM permite aos utilizadores a visualização de imagens 3D que tornam possível, a qualquer momento, e consoante a necessidade, converter essas imagens para os tradicionais modelos 2D. Depois, através do incremento na qualidade da visualização introduzida pelos modelos 3D, os donos de obra e os membros das equipas de projecto podem mais facilmente proceder a alterações no projecto até que o mesmo atinja os objectivos definidos (Grilo e Jardim-Goncalves, 2010). Os sistemas BIM permitem ainda adicionar aos elementos desenhados um conjunto de informação relevante, como propriedades dos materiais, detalhes do processo construtivo, comportamento das estruturas, etc., o que permite em tempo real ter acesso a estes dados.

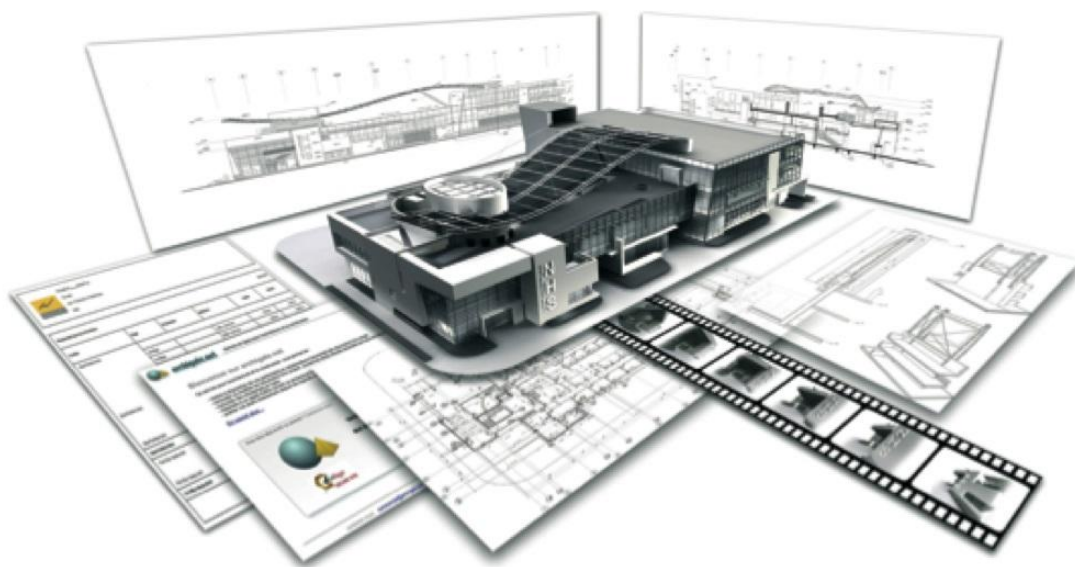


Figura 2.3 - Modelo BIM vs informação 2D (Graphisoft, 2014)

Outra das lacunas que os processos baseados em modelos 2D apresentam é o facto de que, durante a fase de projecto, cada interveniente tende a definir o seu próprio modelo. Com a utilização de sistemas BIM, os diferentes intervenientes no projecto passam a trabalhar directamente sobre a mesma plataforma, sendo promovida a interligação entre especialidades. Deste modo, a utilização de modelos 3D torna possível a resolução de problemas nas fases iniciais dos projectos (Oliveira, 2010).

Pelas razões apresentadas, é facilmente perceptível que os sistemas BIM apresentam importantes vantagens face aos comuns sistemas 2D CAD.

2.1.3. O BIM e a visualização 3D do *workflow*

Prática corrente na construção, as informações do projecto são apresentadas em desenhos 2D e os cronogramas de planeamento da construção são esquematizados sob a forma de gráficos de barras, baseados no Método do Caminho Crítico. Como resultado dessa abordagem, os gestores de projecto têm de ser capazes de gerar mentalmente modelos 3D a partir dos desenhos 2D e depois associa-los ao esquema de planeamento definido. Em obras complexas, esta prática torna-se bastante morosa e requer um elevado grau de experiência por parte dos gestores de projecto. No entanto, é importante garantir a todos os envolvidos no projecto de construção uma correcta e atempada percepção de todo o processo de construção e planeamento (Zhang *et al.*, 2008).

Surgiu assim a necessidade de utilizar os modelos BIM 4D. Um modelo 4D é formado através da combinação de um modelo 3D com actividades e informação temporal. Em 1996, o CIFE, da Universidade de Stanford, nos Estados Unidos, utilizou pela primeira vez o conceito 4D. Comparativamente aos modelos 3D, os sistemas 4D adicionaram o conceito de tempo ao tradicional modelo 3D, tornando possível visualizar os cronogramas da construção em ambiente 3D. A primeira geração de ferramentas 4D permite a visualização de animações 4D onde os vários participantes no projecto podem entender facilmente e de forma realista os planos de construção. Os responsáveis pelo planeamento podem ainda simular vários cenários relativos a diferentes estratégias e deste modo seleccionar o melhor caminho a seguir (Wang *et al.*, 2004). Na figura 2.4 é possível observar um modelo BIM com ligação ao cronograma de planeamento, sendo utilizado o *software* Navisworks.



Figura 2.4 - Software Navisworks BIM 4D (Mrasbuilt, 2014)

Desenvolvimentos na área dos sistemas 4D-CAD procuram explorar potencialidades adicionais tais como a gestão de recursos e análise de custos. O 4D Annotator, desenvolvido pelo CIFE, apresenta-se como uma ferramenta de suporte visual de decisão durante a fase de planeamento. Em vez de disponibilizar simplesmente informação textual, o 4D Annotator adiciona a informação do planeamento directamente na visualização do processo de construção. Em aplicações industriais, o conceito 4D começou a aparecer em algum software, que geralmente é baseado em plataformas 3D já existentes. Um dos exemplos é o Bentley Schedule Simulator. Este sistema permite uma simulação impressionante de cenários de projectos reais, actualizando essas simulações com base em alterações efectuadas na arquitectura 3D ou à calendarização das actividades (Wang *et al.*, 2004).

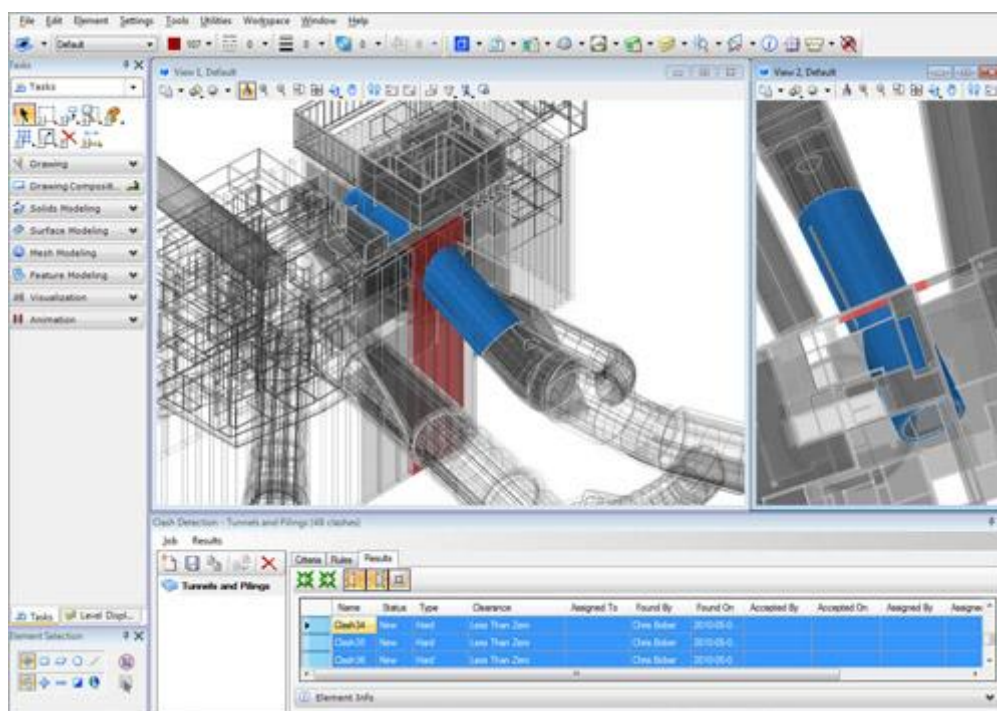


Figura 2.5 - Bentley Schedule Simulator (Bentley, 2014)

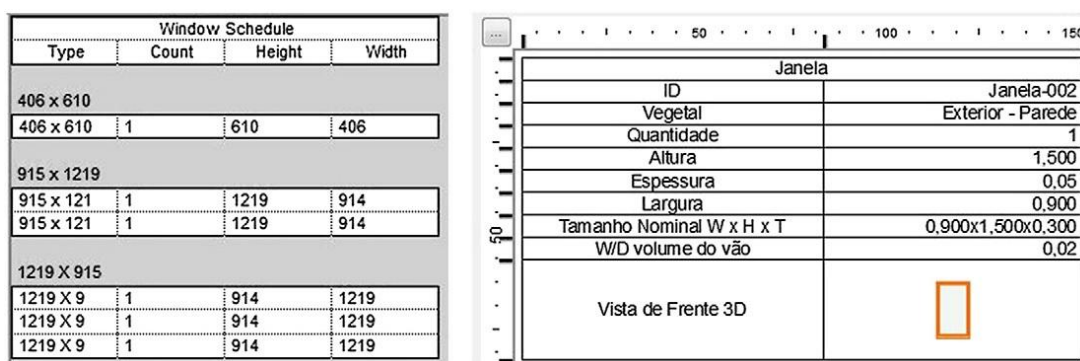
2.1.4. Potencialidades do BIM na medição da produção em construção

A medição da produção em obra é uma tarefa de extrema importância no processo construtivo, na medida em que dela dependem todo um conjunto de outras operações vitais ao cumprimento do projecto, tais como a produção dos autos de medição e o controlo do planeamento. Se por um lado o controlo de custos é importante, ao garantir que o orçamento previsto não é ultrapassado, o cumprimento dos prazos estipulados é outro dos pontos fulcrais num projecto de construção. Um correcto acompanhamento da obra deve assim garantir uma precisa recolha de informação relativa ao progresso da obra e recursos utilizados.

A implementação de automação nas principais trefas ligadas ao sector AEC tem sido uma das principais linhas de investigação da comunidade académica nos últimos 30 anos. No entanto, diferentes explicações foram sendo encontradas para o facto de a comunidade técnica nem sempre

partilhar as mesmas preocupações da comunidade académica. Desde logo, o facto de os benefícios adjacentes às novas tecnologias serem considerados apenas como melhorias a longo prazo, faz com que a indústria não se possa dar ao luxo de apostar em novos sistemas, devido a razões orçamentais (Monteiro e Martins, 2013). Os mesmos autores referem que, no entanto, devido ao facto de os objectos presentes nos modelos BIM serem definidos por um conjunto de características, das quais fazem parte as suas dimensões geométricas, a medição de quantidades é uma das grandes potencialidades do *software* BIM. Sattineni e Bradford (2011), referem que a medição automática de quantidades é uma forma de eliminar os problemas adjacentes ao processo de medição, sendo o BIM apontado como sendo, talvez, a melhor forma para o fazer.

As duas aplicações BIM mais utilizadas são o Autodesk Revit e o Archicad (Monteiro e Martins, 2013). Ambos possuem mecanismos que permitem apurar as quantidades de materiais associadas ao projecto (Farah, 2005). As funções de medição de ambos os programas são bastante semelhantes. Nos dois casos o utilizador define os elementos e parâmetros a serem medidos. O Archicad difere do Revit por possuir uma gama de parâmetros de medição mais vasta e por ser mais intuitivo. Possui ainda uma interface mais completa, em comparação à do Revit, considerada minimalista. Ambos os programas permitem a selecção de todos os tipos de objectos da base de dados do modelo, tornando-se assim possível extrair quantidades dos mesmos (Monteiro e Martins, 2013). A figura



Type	Count	Height	Width
406 x 610			
406 x 610	1	610	406
915 x 1219			
915 x 121	1	1219	914
915 x 121	1	1219	914
1219 X 915			
1219 X 9	1	914	1219
1219 X 9	1	914	1219
1219 X 9	1	914	1219


ID	Janela-002
Vegetal	Exterior - Parede
Quantidade	1
Altura	1,500
Espessura	0,05
Largura	0,900
Tamanho Nominal W x H x T	0,900x1,500x0,300
W/D volume do vão	0,02
Vista de Frente 3D	

Figura 2.6 - Tabelas de quantidades dos programas Revit (esquerda) e Archicad (direita) (Monteiro e Martins, 2013)

Embora capazes de fornecer tabelas de quantidades, as populares ferramentas BIM não conseguem ainda tratar esses dados. Esse trabalho é geralmente feito com recurso a *software* desenvolvido para estimativa de custos. A informação de quantidades é partilhada entre o BIM e este tipo de *software*, geralmente, de duas formas Sattineni e Bradford (2011):

- 1- Ambos os sistemas utilizam o mesmo formato proprietário e a partilha é feita directamente;
- 2- Os sistemas usam diferentes formatos proprietários e a troca é feita através da conversão de dados para um terceiro formato, geralmente, os IFC (*Industry Foundation Classes*)

Uma das ferramentas mais populares que faz a ponte entre o MQT e um modelo BIM é o Autodesk Quantity Takeoff. No entanto, como em outras soluções disponível no mercado, a comunicação com o modelo BIM continua a ser uma fonte de imprecisões, e no final as quantidades apuradas nem sempre correspondem à realidade. A produção de autos de medição com quantidades retiradas dos modelos BIM torna-se mais difícil quanto mais detalhado for o projecto. Mais detalhe significa mais elementos, mais propriedades e mais ligações e restrições entre os elementos e as linhas do MQT (Staub-French e Fischer, 2000).

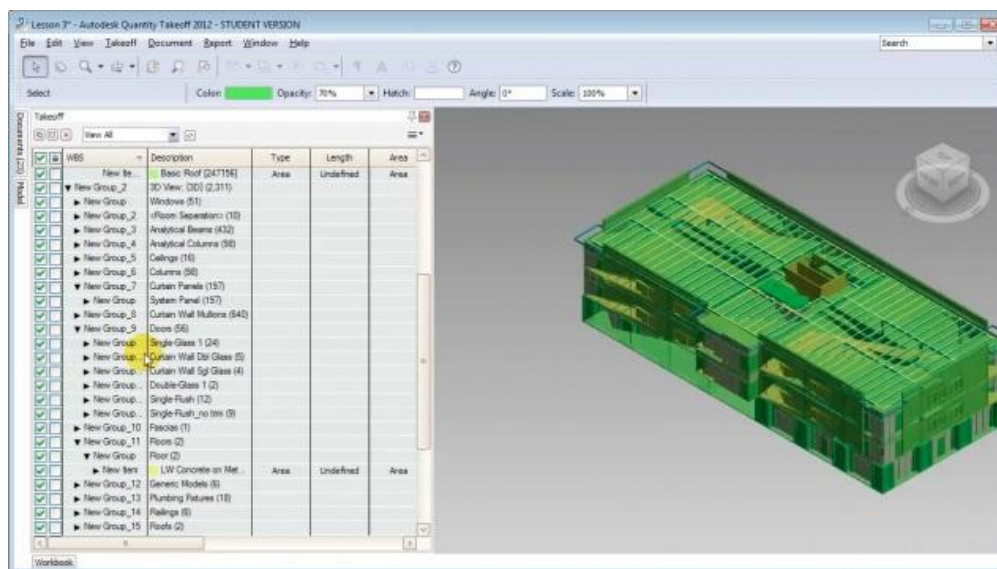


Figura 2.7 - Autodesk Quantity Takeof (Autodesk, 2013)

2.1.5. Informação *as-built*

Informação *as-built* é todo o conjunto de relatos e registos escritos ou desenhados sobre a forma como os elementos de um projecto foram executados. A informação *as-built* desempenha um papel importante na análise da performance, no desenvolvimento de acções correctivas ao planeamento, bem como, mais tarde, às operações de manutenção (Wang *et al.*, 2007) (Liu, 2000).

Um grande volume de informação *as-built* resulta de diferentes fontes de informação tais como cronogramas de planeamento, esquemas de execução, autos de medição, registo de recursos, dados sobre controlo de qualidade, informação diversa escrita ou verbal, registos do progresso diário e acontecimentos na obra e pedidos de alterações. Essa informação é por vezes pouco clara e não é devidamente documentada, contribuindo assim para mal entendidos, avaliação incorrecta do desempenho do projecto e falta de alertas precoces (Hegazy e Abdel-Monem, 2012). Até há pouco tempo, a informação relativa ao progresso da obra, recolhida no local de construção, é registada em papel, o que causa atrasos no projecto e derrapagens orçamentais (Davidson e Skibniewski, 1995).

Em 2012, Hegazy e Abdel-Monem estudaram a problemática da informação *as-built*, propondo um método para recolha de informação e comunicação bidireccional entre a obra e a gestão de projecto, com recurso aos comuns *e-mails*. Nesse estudo, foram comparados vários métodos de recolha de informação em obra actualmente disponíveis. A tabela 1 resume a comparação efectuada.

Função	Tecnologia		
	Pouco evoluída	Grande potencial	Topo de Gama
	Manual / Baseada em papel	Multimedia, voz, telefone, e-mail, etc.	Tecnologia sensorial, scan de laser 3D, etc.
Actualizações ao planeamento	Funções todas manuais	Tudo automatizado no sistema proposto	Em desenvolvimento
Análise do progresso			Actualmente muito dispendiosa
Anexar os acontecimentos às actividades			
Anexar documentos ao planeamento			
Responder a pedidos de informação			
Aplicável a	Pequenos Projectos	Projectos pequenos e médios	Todos os projectos

Tabela 1 - Comparação entre vários sistemas de recolha de informação em obra (Hegazy e Abdel-Monem, 2012)

Os modelos BIM representam uma importante forma de armazenar informação relativa a um projecto e, muitas vezes, substituem o conjunto de documentação referido em cima. O modelo BIM pode assim ser enriquecido com informação de vários tipos vinda da obra, obtendo-se assim um modelo BIM *as-built*, ou seja, um modelo BIM que acompanha os acontecimentos da obra, e retrata fielmente o que está a ser construído. Goedert e Meadati (2008), levaram a cabo um estudo onde um modelo BIM foi enriquecido durante uma obra com informação *as-built*, tendo ao mesmo tempo feito o registo dessa informação através do processo normal (documentos em papel).

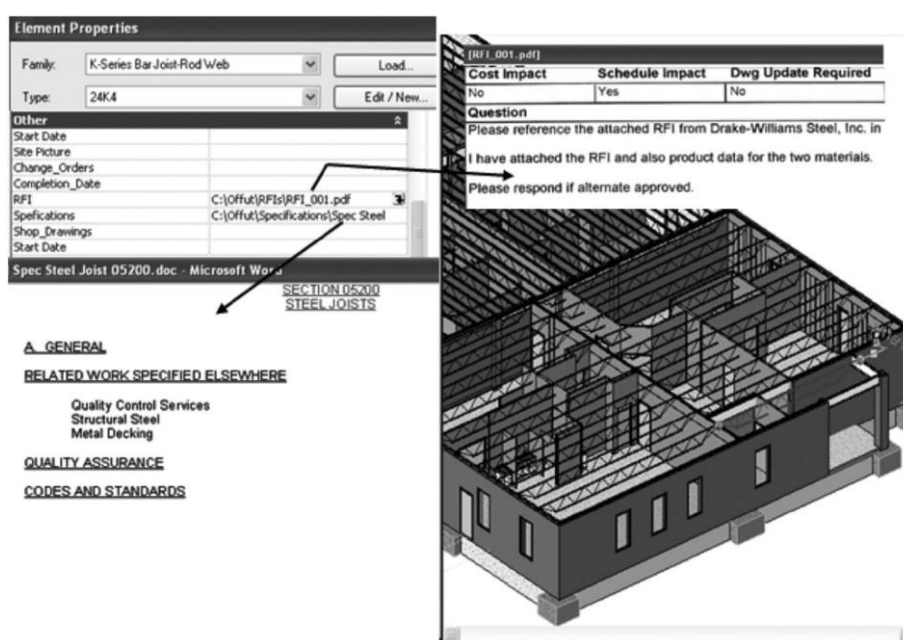


Figura 2.8 - Anexo de informação a um elemento 3D do modelo BIM (Geodert e Meadati, 2008)

Na figura 2.8 pode observar-se um elemento 3D do modelo BIM ao qual foi anexada informação relativa às especificações do material e pedidos de informação.

Clemente e Cachadinha (2012) utilizaram modelos BIM para apoio em tarefas de manutenção num edifício de grande utilização, e concluíram, entre outras coisas, que quanto mais rico em informação for o modelo, maior será o seu potencial para utilização neste tipo de operações. Por isso, é fundamental que os modelos BIM sejam actualizados com informação vinda da obra, e transformados em modelos BIM *as-built*.

2.1.6. Utilização do BIM na fase de exploração das construções

A manutenção de edifícios é vista como uma actividade integrante da gestão de instalações (Barrett e Baldry, 2003) e, simultaneamente, considera-se que faz parte do sector da construção (Ali *et al.*, 2006). No entanto, pouco tem sido aprofundado no desenvolvimento de ferramentas de auxílio à manutenção de edifícios (RICS, 2009). Apesar de a manutenção de edifícios e gestão de instalações não terem, durante muito tempo, sido consideradas como actividades de grande impacto na vida das organizações, o crescimento da concorrência tanto no sector público como privado tem contribuído para a inversão desta visão.

Habitualmente, a manutenção pode ser preventiva ou correctiva. A manutenção preventiva tem que ver com o cumprimento do plano de manutenção do edifício. No entanto, a manutenção correctiva procura responder a uma falha ou ruptura que surge. Na prática actual, a informação necessária para levar a cabo a manutenção preventiva pode facilmente ser preparada antecipadamente, se comparada com as acções de natureza correctiva. Um dos principais desafios nos projectos é ter sempre disponível informação sobre os produtos para acções de manutenção, tal como: especificações, trabalhos de manutenção anteriores, lista dos profissionais capazes de levar a cabo as tarefas, etc. Como as actividades de manutenção vão ocupar uma grande fatia do tempo de vida útil dos edifícios, e envolvem muitos intervenientes diferentes ao longo do tempo, a informação detalhada sobre os produtos utilizados e operações efectuadas é fundamental para ser monitorizada pelas empresas e clientes (Nummelin *et al.*, 2011).

O aparecimento de soluções de bases de dados integradas, como as de Aouad *et al.* (1994) e Underwood e Alshaw (2000) veio contribuir para uma melhor gestão da informação recolhida, no entanto, estas soluções permitem apenas a troca de informação, dando pouca ênfase à recolha e partilha de conhecimento. Todas as soluções desenvolvidas ao longo do tempo inspiraram a criação do BIM.

Os benefícios do BIM na gestão de instalações são significativos, ao permitir disponibilizar informação *as-built* sobre o processo construtivo, dados sobre garantia e manuais de serviço, dados do controlo de qualidade, informação sobre avaliação e monitorização, gestão dos espaços, gestão do plano de emergência ou manutenção preventiva. O BIM pode ainda ser útil para opera-

ções de demolição, reduzindo os erros e riscos financeiros associados a este tipo de operações, permitindo sequenciar os trabalhos, calcular os custos e fazer a gestão dos resíduos resultantes (Volk *et al.*, 2014).

Em 2012, Clemente e Cachadinha estudaram as potencialidades da utilização do BIM em tarefas de manutenção/reparação em edifícios de grande utilização. Concretamente, foi utilizado como caso de estudo uma estação ferroviária da cidade de Lisboa. No final, concluíram que existem vantagens reais na utilização do BIM neste tipo de tarefas, tais como a redução dos desperdícios, identificação prévia de restrições existentes no local da reparação, detecção de conflitos e colisões entre os equipamentos e o edifício, bem como a simulação/gestão dos processos em ambiente virtual, antes de iniciar os trabalhos. Os mesmos autores destacam ainda que o BIM permitiu às equipas planear a melhor sequência de trabalhos, reduzindo para metade o tempo das intervenções. Por fim, é referido que os trabalhadores participantes no caso de estudo, após perceberem as melhorias introduzidas pelo modelo BIM, passaram a consultar o modelo antes de cada intervenção, contribuindo inclusive com informações para a sua actualização. A figura 2.9 esquematiza a forma como o modelo BIM foi utilizado no caso de estudo.

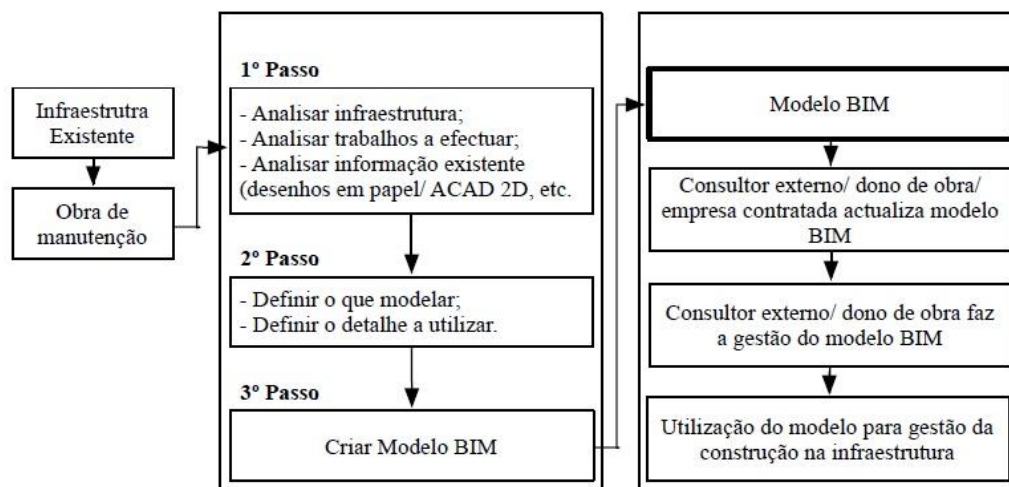


Figura 2.9 - Esquema proposto de utilização do modelo BIM em obra (Clemente e Cachadinha, 2012)

Neste estudo, porém, o modelo BIM foi criado especificamente para a fase de exploração. No entanto, os benefícios identificados são também válidos quando utilizado o modelo criado na fase de projecto.

A utilização do BIM na gestão de instalações motivou o aparecimento de novas ferramentas informáticas baseadas em BIM, orientadas para o auxílio às tarefas de manutenção/reparação em edifícios. Para além da adaptação das ferramentas já existentes, surgem cada vez mais novos programas. A Autodesk evoluiu o Revit MEP tornando-o capaz de integrar parâmetros relativos à manutenção preventiva dos elementos (Autodesk, 2014). O Nucleous6D surge como uma ferramenta BIM totalmente vocacionada para a gestão de instalações (Nucleous6d, 2010).

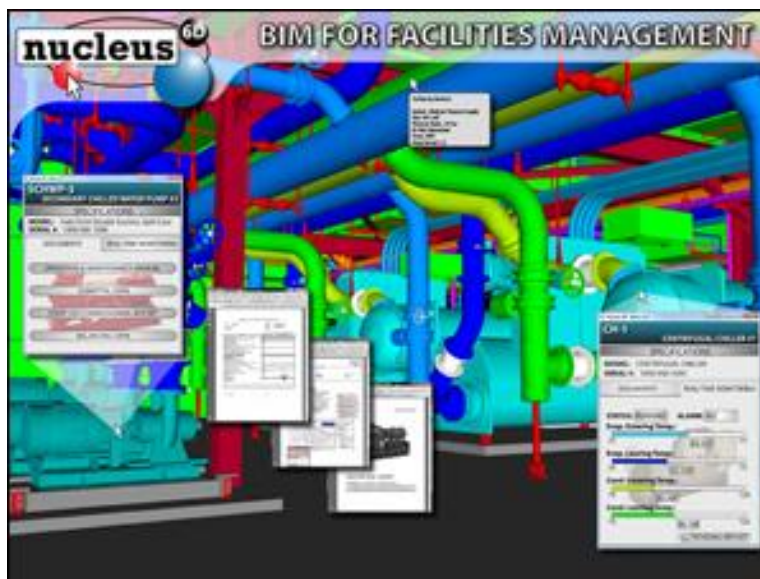


Figura 2.10 - Software Nucleous6D (Nucleous6d, 2010)

2.2. Realidade Aumentada

2.2.1. Enquadramento do conceito

A realidade aumentada é um conceito que mistura um ambiente real com informação gerada por computador. Concretamente, a RA cria um ambiente onde os elementos gerados por computador são sobrepostos ao campo de visão real do utilizador (Milgram e Colquhoun, 1999). A realidade aumentada permite ao utilizador trabalhar sobre um ambiente real enquanto recebe informações visuais, ou modelos gerados por computador, adicionais que servem de suporte à tarefa que está a ser desempenhada. A RA começou por ser utilizada em aplicações de visualização científica e em jogos de entretenimento. Com o avanço da tecnologia e cada vez mais aplicações possíveis para a RA, passou-se de sistemas baseados em marcadores para sistemas que dispensam o uso de marcadores (por exemplo, o D'Fusion in Total Immersion) e sistemas sensíveis ao contexto (por exemplo o Layar e o Wikitude) que podem ser usados em qualquer cenário (Wang *et.al*, 2012). Os sistemas baseados em marcadores implicam a leitura de um marcador por parte do dispositivo, que permite depois ao utilizador poder visualizar o objecto virtual no ecrã do dispositivo. Por seu lado, os sistemas sem marcador dispensam essa leitura, mas o dispositivo necessita de estar georreferenciado para que o dispositivo saiba onde introduzir os elementos virtuais.

A RA está a ter um impacto enorme na indústria da comunicação, provocando uma revolução na maneira como homem e computador se relacionam. A RA tem sido aplicada com sucesso na área do entretenimento, vendas a retalho, viagens, publicidade e comunicação social. Novas aplicações são esperadas nos próximos anos, prometendo revolucionar a forma de viver e trabalhar.

As previsões da ABI Research para 2014 apontam para que a RA gere receitas na ordem dos 350 milhões de dólares. Marcas importantes no panorama mundial como a IBM, HP, Sony, Nokia e Intel vão investir em RA nos próximos anos, o que confirma a tendência de aumento desta tecnologia. Da mesma forma, também o mundo acadêmico tem aumentado o interesse por esta área (Wang *et.al*, 2013).



Figura 2.11- Aplicação de RA (sem marcadores) num dispositivo móvel (Onbile, 2012)

Gartner (2012) prevê que em 2014 30% dos trabalhadores de todas as áreas utilizem tecnologia de RA no seu trabalho. O mesmo autor prevê ainda que após um longo período de desenvolvimento e aperfeiçoamento, a utilização de aplicações baseadas em RA pelo público em geral atingirá o seu pico no mesmo ano.

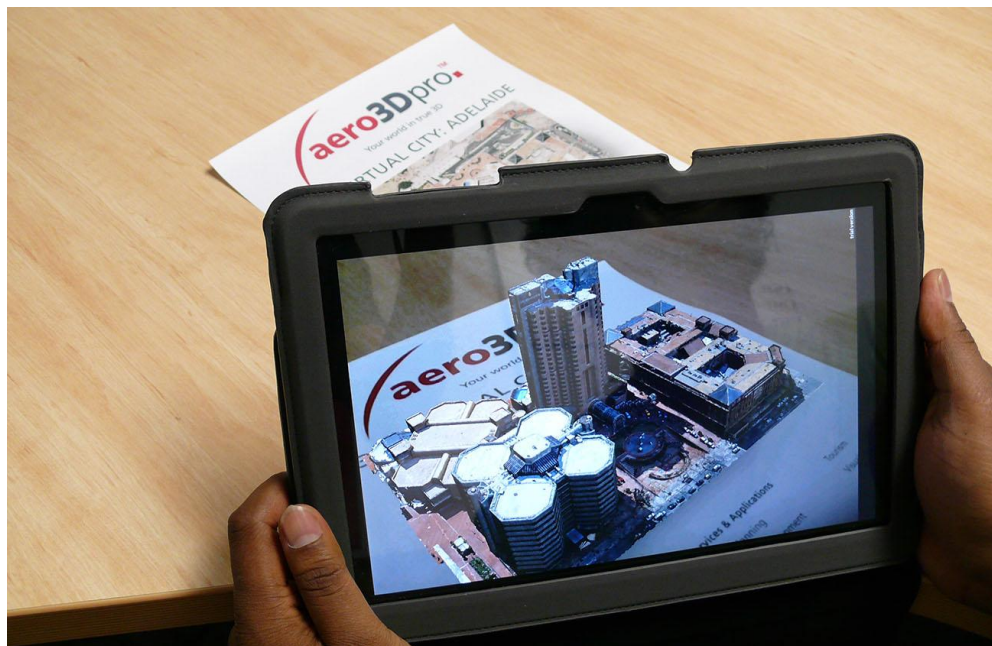


Figura 2.12 - Exemplo de aplicação de RA com recurso a marcadores (Aerometrex, 2014)

2.2.2. Utilização na indústria

A RA tem despertado o interesse por parte da indústria, e prova disso é a aposta que muitas marcas importantes, ligadas a vários sectores de actividade, têm feito na criação de aplicações baseadas em RA. Seja para promover os seus produtos, para ajudar o consumidor na sua utilização, ou até para o auxílio aos profissionais, as marcas percebem hoje o enorme potencial que esta tecnologia apresenta.

Na área da venda a retalho, o IKEA, reconhecida empresa mundial ligada ao mobiliário, desenvolveu o catálogo de produtos de 2014 incorporando tecnologia de RA. Os clientes podem assim visualizar alguns dos produtos da marca nos seus *smartphones* ou *tablet*, sobre o ambiente real da sua casa, e ter a noção se determinado equipamento se adequa ou não às necessidades do espaço (IKEA, 2014). A figura 2.13 mostra o funcionamento da aplicação de RA da IKEA.



Figura 2.13 - Aplicação de Realidade Aumentada da IKEA (IKEA, 2014)

Outra das grandes marcas mundiais, a Google, apresentou o seu projecto Google Glass. Trata-se de um dispositivo do tipo *head-mounted display* (HMD), que sob a forma de óculos permite ao utilizador interagir com o mundo real. O sistema permite, entre outras coisas, obter fotos instantâneas do campo de visão do utilizador, vídeos, e informações sobre os elementos presentes no campo de visão tais como monumentos, edifícios e estradas.



Figura 2.14 - Google Glass (Georgia Institute of Technology, 2014)

A grande vantagem deste sistema reside no facto de o utilizador poder, através de comandos por voz, dirigir todas as operações, eliminando botões e libertando as mãos (Google, 2014). A utilização deste dispositivo da Google tem atraído o interesse dos investigadores, que estudam o seu potencial aplicado em diversas áreas. Um dos exemplos foi o estudo levado a cabo por Muensterer *et.al* (2014), onde foram identificadas vantagens na utilização deste equipamento em medicina, concretamente na área da cirurgia pediátrica. Os autores referem que, em primeiro lugar, a utilização dos óculos foi bem tolerada, sendo a sua utilização aprovada tanto pelos profissionais de saúde como pelos pacientes. Outras vantagens como a possibilidade de documentar informação através de fotos/vídeos e esse processo ser feito em sistema mãos-livres, fazer chamadas telefónicas em sistema mãos livres, consulta de códigos e referências, e pesquisas na internet para termos médicos desconhecidos ou síndromes, foram também referidas pelos autores.



Figura 2.15 - Utilização do Google Glass em cirurgia pediátrica (Muensterer *et.al*, 2014)

2.2.3. Utilização no ensino

Uma das áreas onde a RA apresente grande potencial é o ensino. Redondo *et.al* (2013), efectuaram um estudo através do qual um conjunto de novas tecnologias de informação, incluindo RA, foram utilizadas no ensino de Arquitetura e Engenharia Civil a um grupo de alunos. Foi feita a comparação entre este grupo (denominado grupo experimental) e um grupo onde foram utilizados os métodos tradicionais de ensino (denominado grupo de controlo). A figura 2.16 mostra a metodologia que foi seguida no estudo.

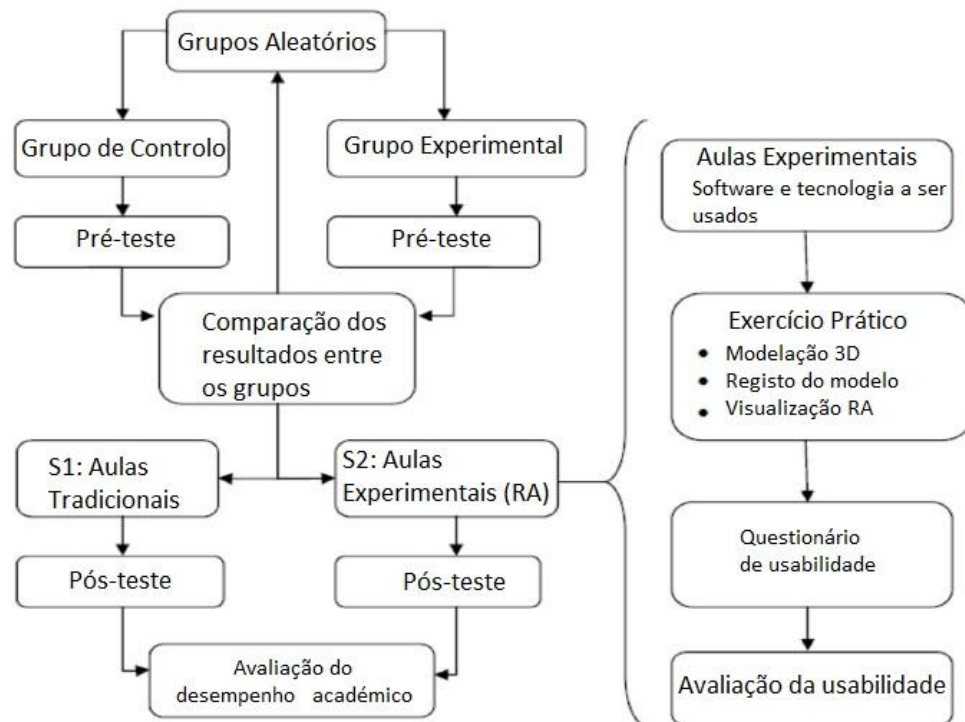


Figura 2.16 - Avaliação de ensino com recurso a RA. Metodologia seguida (Redondo *et.al*, 2013)

No final, os autores concluíram que o uso de AR no ensino permite aos alunos obterem melhores resultados académicos. Comparativamente, os grupos experimentais obtiveram melhores resultados que os grupos de controlo. Estes resultados levam a crer que, através da utilização de uma tecnologia atraente que permita boa interacção com o usuário (características intrínsecas à RA), os alunos sentem-se mais motivados, as suas competências e capacidade de visualização gráfica são aumentadas em períodos mais curtos de aprendizagem, e o seu desempenho académico é altamente melhorado. Os autores concluem afirmando que a tecnologia de RA, em combinação com o uso de *smartphones*, oferece variadas possibilidades para avaliar, no local, projectos de arquitectura, *design* urbano, processos de construção e estudos do património histórico. A RA pode ajudar a melhorar o entendimento de propostas arquitectónicas, permitindo ao utilizador ter a noção real da sua posição e dimensão. Isso permite ao mesmo tempo verificar e comparar diferentes cenários virtuais ou propostas anteriores para construção.

A utilização de RA como suporte na educação tem sido estudada por variados autores. A coexistência de objectos virtuais sobrepostos a um ambiente real permite aos alunos visualizar relações espaciais complexas e conceitos abstractos (Arvanitis *et al.* 2007), experienciar fenómenos que de outra forma não seria possível no mundo real (Klopfer e Squire, 2008), interagir com objectos 2D e 3D através da realidade misturada (Kerawalla *et.al*, 2006), e desenvolver práticas de ensino que não podem ser levadas a cabo através da utilização de outro tipo de tecnologias (Squire e Klopfer, 2007). Um estudo levado a cabo por Wu *et.al* (2013), avaliou o actual panorama relacionado com o uso de RA na educação, definindo igualmente oportunidades e desafios.



Figura 2.17 - Ensino através de RA (Schoolhub, 2012)

2.2.4. Potencialidades de utilização da RA na construção

Nos últimos anos, uma quantidade significativa de estudos centrou-se na aplicação da RA a uma ampla gama de domínios, principalmente no sector comercial. Estes desenvolvimentos resultam, em geral, do rápido aparecimento de *software* computacional e hardware. Uma vez que o sector AEC, bem como a gestão de instalações, tendem a adoptar cada vez mais soluções derivadas das novas tecnologias de informação e comunicação (TIC), são necessárias plataformas de visualização mais intuitiva. As principais falhas identificadas no sector AEC / gestão de instalações são conhecidas: a falta de informação dos trabalhadores, as lacunas entre as soluções planeadas e executadas e a dificuldade de comunicação entre os intervenientes. Uma vez que a RA apresenta capacidade para resolver estes problemas, é esperado que a RA seja um forte aliado do sector. Neste momento, o principal desafio para os investigadores é como pode a RA resolver os problemas do sector AEC (Chi *et al.*, 2013).

Alguns estudos têm tentado simular actividades de construção em programas de computador e obter feedback, no entanto, o facto de estas simulações decorrerem em ambiente unica-

mente virtual faz com que por vezes os resultados se distanciem da realidade. A realidade aumentada resolve este problema ao permitir a sobreposição de elementos 3D sobre um ambiente real (Azuma, 1997). Estudos anteriores tinham já demonstrado que a RA pode melhorar a visualização e aumentar a compreensão por parte do usuário (Dunston e Wang, 2005), e é eficaz para auxiliar a visualização de ambientes 3D (Wang e Dunston, 2006).

Na área da engenharia civil, a RA está cada vez mais no centro da investigação. Golparvar-Fard *et al.* (2009) utilizaram RA para visualizar modelos 4D, úteis na gestão do planeamento em obra. Schall *et al.* (2009) e Talmaki *et al.* (2010) utilizaram RA para exibir o posicionamento de infraestruturas subterrâneas, mitigando danos indesejados em obras à superfície. Chi *et al.* (2012) simularam operações com gruas, com recurso a um sistema de RA, e concluíram que o desempenho dos operadores melhorou. Uma vez que cada vez mais o sector AEC recorre ao apoio de modelos 3D e 4D em diversas tarefas, a RA representa uma forma viável e eficaz para combinar a realidade virtual com o mundo real (Kamat *et al.*, 2010).



Figura 2.18 - RA como ferramenta de apoio à construção (Bdcnetwork, 2013)

Com a melhoria das tecnologias de localização, os dispositivos de RA não são obrigados a depender de marcadores para saber onde posicionar o elemento virtual. Através da análise de elementos do ambiente real, os novos sistemas conseguem identificar relações entre a câmara e o

sistema de coordenadas do mundo real. Por isso, tornou-se mais fácil aplicar a RA nas áreas de engenharia e construção. Caso contrário, devido à complexidade de muitos locais de construção, seria difícil utilizar o tradicional sistema de marcadores que alguns sistemas de RA necessitam para funcionar (Chi *et al.*, 2013).

A RA pode também ser útil na gestão de instalações. Irizarry *et al.* (2013) estudaram a aplicação de um sistema de RA como ferramenta de apoio aos gestores de instalações nas suas tomadas de decisão diárias. O *software* desenvolvido foi denominado InfoSpot (*Information Surveyed Point for Observation and Tracking*), permite ser instalado num dispositivo móvel, e fornece informações sobre as instalações aos utilizadores, permitindo-lhes ter acesso rápido à informação e tomar assim decisões também elas mais rápidas. No final do estudo, os autores concluíram que esta solução de baixo custo ajuda os gestores de instalações nas suas tarefas de rotina, uma vez que a visualização de um espaço pode agora ser acompanhada de informação sobre os elementos, tudo isto numa única interface.

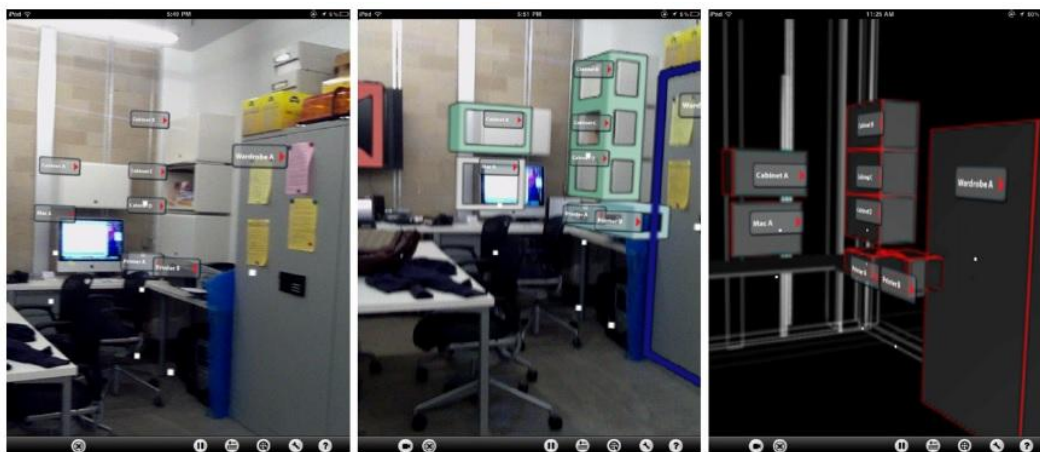


Figura 2.19 - Utilização do InfoSpot durante o estudo de Irizarry *et al.* (2013)

2.2.5. RA e BIM

O conceito RA implica que elementos virtuais sejam sobrepostos a um ambiente real. No vasto campo de aplicações que utilizam RA os elementos virtuais podem ser os mais variados. Como demonstrado no subcapítulo 2.2.4, a RA utilizada no sector AEC permite melhorar o desempenho dos operários em várias tarefas. Quase sempre é referido que a visualização de informação sobreposta ao mundo real facilita a compreensão das tarefas, ao mesmo tempo que fornece informação preciosa para a tomada de decisões. Por outro lado, o BIM representa um novo paradigma na forma como a construção é abordada. As vantagens associadas à utilização do BIM nas diversas fases da vida útil dos projectos foram identificadas mais atrás neste estudo. Porém, o facto de o BIM lidar com uma grande quantidade de informação faz com que a sua utilização no local de construção esteja ainda limitada (Wang *et al.*, 2012). Wang *et al.* (2012) propuseram uma plataforma conceptual que integra RA com BIM e permite transportar o BIM até aos

locais de construção, sendo que o modelo BIM 3D passa a ser sobreposto ao ambiente real. Foram identificadas as vantagens que um sistema integrando BIM e RA tem em diversas áreas e fases do projecto. Uma das vantagens identificadas foi a possibilidade de comparar *as-built* com *as-planned*, ou seja, o que está construído com o que está planeado, para controlo do progresso de obras. Essa comparação foi, recentemente, a base para uma plataforma conceptual proposta por Grazina e Cachadinha (2012), para actualização automática do planeamento.

Jiao *et al.* (2013) desenvolveram uma aplicação que integra RA e BIM, mostrando que, entre outras coisas, é possível utilizar os elementos 3D desenvolvidos nas ferramentas BIM comerciais. Essa conversão é muito importante uma vez que faz a ponte entre os *software* BIM existentes e uma aplicação de RA.



Figura 2.20 - Visualização de modelo BIM em ambiente real (Jiao *et al.*, 2013)

Wang *et al.* (2014) desenvolveram um estudo onde é destacada a necessidade de uma metodologia estruturada que integre plenamente a tecnologia de RA em BIM. Com base numa análise genérica do papel do BIM na construção, o estudo justifica a necessidade para o desenvolvimento de um sistema de informação utilizável no local de construção e, em seguida, formula os métodos para configurar protótipos de BIM + RA. Concretamente, este estudo centra-se em actividades de construção ligadas à indústria do gás natural liquefeito. Foram definidos 4 sistemas que integram BIM com RA:

- 1- BIM + RA para navegar através do modelo
- 2- Sistema móvel de BIM + RA sensível ao contexto
- 3- BIM + RA para montagem no local de construção
- 4- BIM + RA para orientação dos trabalhadores

O sistema 1 prevê a utilização no escritório ou no local de construção. No primeiro caso, o modelo 3D pode ser sobreposto às plantas 2D que lhe deram origem. No segundo caso, os modelos 3D são visualizados através dos marcadores existentes no local.

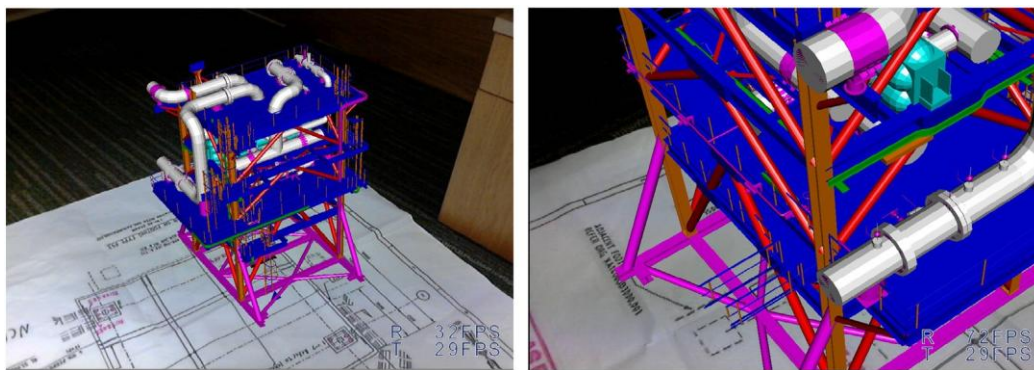


Figura 2.21 - Moldeo 3D sobreposto aos desenhos 2D (Wang *et al.*, 2014)

O sistema 2 consiste na visualização dos modelos 3D em obra, com a particularidade de cada elemento poder ser selecionado e ter-se assim ao conjunto de informações associadas a esse elemento, que estão introduzidas no modelo BIM.



Figura 2.22 - Características associadas aos elementos (Wang *et al.*, 2014)

O sistema 3 centra-se na informação fornecida aos trabalhadores sobre os procedimentos de montagem dos equipamentos. A figura 2.23 mostra uma sequência para a instalação de canalizações.

Por fim, o sistema 4 garante apoio aos trabalhadores assinalando a localização dos equipamentos. Esta característica é de extrema importância uma vez que permite poupar tempo quando a localização dos equipamentos é desconhecida. Clemente e Cachadinha (2012) identificaram precisamente esta vantagem na utilização do BIM em obra. A diferença para o estudo de Wang *et al.* (2014) reside na introdução da RA como meio para visualizar os modelos BIM sobrepostos à realidade. A figura 2.24 mostra como o sistema pode indicar a localização dos equipamentos.

Destaca-se o facto de o elemento 3D não estar visível, sendo que o sistema apenas orienta o utilizador na para a sua localização.



Figura 2.23 - Sequência para a instalação de canalizações (Wang *et al.*, 2014)



Figura 2.24 - Localização de uma válvula embutida na parede (Wang *et al.*, 2014)

2.3. Medição da produção na construção

2.3.1. Enquadramento e método tradicional

A medição na construção é a determinação quantitativa dos trabalhos a executar numa dada obra, destinando-se a diversos fins relacionados com a gestão de obras, nomeadamente: orçamentação, planeamento, determinação de quantidades de recursos, elaboração de autos de medição, controlo da facturação, controlo das quantidades dos recursos e controlo económico de obras (Mestre, 2010).

A medição é uma das actividades importantes do projecto, sendo também fundamental para as principais entidades envolvidas no processo construtivo, nomeadamente o dono de obra e o empreiteiro, desde o anúncio do concurso, base essencial para a apresentação e avaliação das propostas e elaboração de documentos contratuais, à elaboração de autos de medição e controlo da facturação, isto é, à gestão e controlo económico, desde as fases de planeamento à de execução. Deste modo, as medições dos trabalhos previstos no projecto ou executadas em obra devem ser entendidas por cada uma das entidades envolvidas como realizadas com regras bem definidas, tendo em vista atingir os seguintes objectivos (Prego, 2012):

- Possibilitar, a todas as empresas que apresentam propostas a concurso, a determinação dos custos e a elaboração de orçamentos, com base nas mesmas informações de quantidades e nas condições especificadas para os trabalhos indicados no projecto;
- Elaborar listas de trabalhos, de acordo com sistemas de classificação que individualizem cada trabalho segundo grupos específicos que possibilitem, às várias entidades envolvidas no processo, análises comparativas de custos e avaliações económicas de diferentes soluções;
- Proporcionar às entidades adjudicantes a avaliação das propostas cujos preços fora formulados com idêntico critério, bem como permitir, de um modo facilitado, a quantificação das variações que se verificarem durante a construção, devidas a trabalhos a mais e a menos ou a erros e a omissões de projecto;
- Possibilitar aos diferentes agentes envolvidos no processo construtivo um acesso simplificado a informação eventualmente tipificada e informatizada relativa a trabalhos-tipo, permitindo assim a formulação de propostas para concursos com bases determinísticas sólidas, nomeadamente as relativas a custos de fabrico, directos, indirectos, de estaleiro e de subempreitadas;
- Proporcionar às empresas adjudicatárias uma sistematização de procedimentos relacionada com o controlo dos diversos trabalhos a executar, nomeadamente os devidos a rendimentos de recursos que proporcionam o cálculo das quantidades de materiais e a avaliação das quantidades de mão-de-obra, de equipamentos ou de outros recursos a utilizar na execução dos trabalhos;
- Facilitar o estabelecimento dos planos de inspecção e ensaios aplicados ao controlo da qualidade e da segurança na execução dos diferentes trabalhos;

- Facilitar a elaboração dos autos de medição e o pagamento das situações mensais, no prazo de execução da obra, e a elaboração da conta da empreitada quando da recepção provisória da obra;

- Estabelecer as bases para que as empresas realizem a análise e o controlo de custos dos trabalhos.

Na construção, embora a tecnologia permita que cada vez mais processos sejam feitos de forma automática, poupando tempo e recursos, outros processos existem que continuam a fazer-se da mesma forma. Devido ao facto de a medição de quantidades em obra ainda ser feita quase sempre de forma manual, os gestores de obras despendem grande parte do seu tempo a medir, registar e analisar o progresso dos trabalhos (Zhang *et al.*, 2009).

Medir o progresso dos trabalhos consiste em observar o local de construção, perceber quais foram as actividades onde foi registado progresso, e determinar a quantidade que foi executada, registando-a. No método tradicional, todo este processo é manual. O operador tem aqui um papel fundamental uma vez que dele vai depender o rigor dos registos. Para levar a cabo as tarefas de medição, os operadores podem servir-se apenas da sua visão, mas podem também socorrer-se de diversos equipamentos de apoio. O mais comum são as tradicionais fitas métricas. Existem no entanto alguns sistemas mais avançados como os medidores de laser. Estes equipamentos são bastante úteis em ambientes interiores, no entanto, alguns aparelhos, quando usados no exterior, têm o inconveniente de serem difíceis de utilizar pelo facto de não ser perceptível a localização do ponteiro.



Figura 2.25 - Medição de distância com recurso a medidor de laser (Bosh, 2014)

A medição em construção tem duas finalidades principais: controlo dos custos e controlo do planeamento. A primeira finalidade está relacionada com os pagamentos que o dono de obra tem de efectuar ao empreiteiro pelos trabalhos realizados. É com base nas quantidades medidas que esses pagamentos são feitos. A segunda finalidade está relacionada com o cumprimento do cronograma definido para a obra. É essencial que os gestores de planeamento saibam a todo o momento quais as actividades que estão adiantadas ou atrasadas para que os prazos de execução sejam cumpridos. Em ambos os casos é necessário medir, porém, nem sempre da mesma forma. Para o controlo de custos medem-se as quantidades definidas no MQT. Para o controlo do planeamento medem-se as actividades da WBS (*work breakdown structure*). Uma WBS é uma ferramenta utilizada para definir e agrupar as actividades de um projecto, por forma a ajudar à organização e definição das tarefas que envolvem todo o projecto. Cada actividade de trabalho na WBS tem seu próprio âmbito, similar ao do projeto, que pode ser dividido em três aspectos fundamentais: qualidade, prazo e custo (Seyedhoseini *et al*, 2009). A WBS assume a forma de um diagrama de árvore com o tronco na parte superior, e os ramos abaixo. Os três factores chave do projeto são mostrados na parte superior e os de cada actividade são mostrados na parte inferior (Zhang e Fan, 2014). A figura seguinte mostra uma WBS representada através de um Diagrama de Gantt, uma das ferramentas mais comuns quando se pretende representar o planeamento de uma obra.

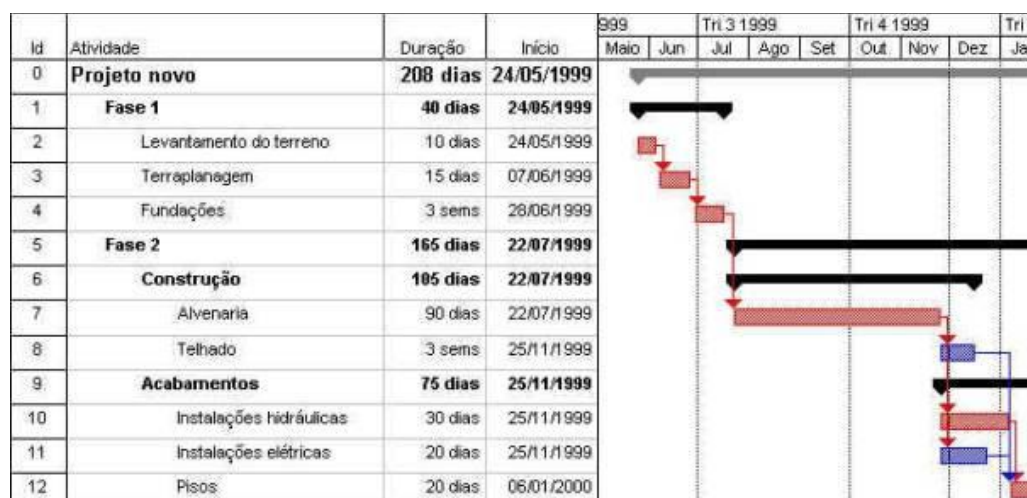


Figura 2.26 - Diagrama de Gantt representando uma WBS (Siqueira, 2000)

Enquanto as linhas do MQT são definidas por unidades de medida (m, m2, m3, unidades, etc.), o progresso das actividades é definido em percentagem. Por exemplo, se uma actividade estiver metade concluída, diz-se que o seu progresso está a 50%. Se, por outro lado, estiver totalmente concluída, o progresso corresponde a 100% do total da actividade. Se esta não tiver começado, então o progresso será 0 %.

2.3.2. Regras de medição

A existência de regras de medição oficiais para o sector da construção determinam que em todas as obras os mesmos procedimentos sejam seguidos quando se medem elementos. Em alguns países as regras de medição existentes constituem norma, tendo de ser obrigatoriamente adoptadas. Noutros, como o caso de Portugal, não existe legislação que determine a obrigatoriedade de seguir determinada regra ou norma. Nesse caso, quando no caderno de encargos nada é referido acerca desse assunto, os intervenientes utilizam o método que mais lhes for conveniente.

Apesar de existirem documentos originários de diversos países que estabelecem a forma como as medições devem ser executadas em construção, não seria útil a este estudo identificar cada um deles. Assim, optou-se por referir apenas alguns, dando enfoque especial aos documentos existentes em Portugal. Os documentos analisados foram:

- CSRMC – Curso Sobre Regras de Medição na Construção – Portugal (Fonseca, 2008);
- SMM7 – *Standard Method of Measurement 7th edition* - Reino Unido (TRICCS, 1992);
- CESMM3 – *Civil Engineering Standard Method of Measurement 3rd edition* (Institution of Civil Engineers, 1991) - Reino Unido;
- DIN – *Deutsches Institut für Normung* (DIN, 2014) – Alemanha;
- NBN B 06-001 - *Belgium Standards Institute* (NBN, 2014) – Bélgica.

O documento CSRMC foi criado originalmente pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) em 1969, tendo na altura a designação de “Regras de Medição – Documento de Trabalho”. Na base deste documento estiveram as regras utilizadas em França e Inglaterra, naquela época. O objectivo do documento era a uniformização dos critérios de medição, e a sua elaboração teve a participação de várias entidades ligadas à construção em Portugal. Ao longo dos anos este documento sofreu várias actualizações, vendo crescer nomeadamente os tipos de trabalhos aos quais as regras se aplicam.

Mais tarde, em 1997, o LNEC publicou “Curso Sobre Regras de Medição na Construção”, no qual se encontram dispostas as regras de medição que se destinam a quantificar os diferentes trabalhos de construção, resultando esta publicação de um trabalho base desenvolvido por este organismo. Esta publicação é actualmente a mais utilizada pelo meio técnico na elaboração dos mapas de medições, apesar de não se tratar de uma norma oficial de medição ou norma definida pelo LNEC, mas sim de um documento de aplicação facultativa. Este facto leva a que, em determinados trabalhos, os critérios utilizados sejam acordados entre o dono de obra e o empreiteiro, ou com recurso a legislação internacional, gerando-se assim uma multiplicidade de critérios.

Ao longo dos anos têm sido realizados pelo LNEC um conjunto de cursos sobre Regras de Medição, exteriorizando a importância deste tema e a necessidade de intervenção neste capítulo na construção.



Figura 2.27 - Regras de Medição na Construção (LNEC, 2013)

2.3.3. Utilização de sistemas automáticos

A medição da produção na construção tem sido tema de estudo ao longo dos anos, e continua a motivar a pesquisa de vários autores investigadores. Apesar de na grande maioria das obras as medições continuarem a ser feitas de forma manual, a complexidade dos grandes projectos, aliada à crescente necessidade de redução de custos e cumprimento de prazos cada vez mais exigentes, motivou o desenvolvimento de sistemas que auxiliem os gestores de projectos a controlar melhor as suas obras. O controlo do progresso e dos custos são duas áreas chave para as quais têm sido desenvolvidas aplicações informáticas.

Os sistemas que a bibliografia frequentemente refere são os códigos de barras, *scan* de laser, identificação por radiofrequência, fotogrametria e mais recentemente os sistemas BIM (El-Omari e Moselhi, 2011).

A tecnologia de *scan* de laser foi desenvolvida em 1978, sendo que o *National Research Council of Canada* foi uma das entidades que participou nesse desenvolvimento (Mayer, 1999). O sistema inclui um *scanner* que está ligado a um computador portátil através de uma ligação em

série. O funcionamento do sistema consiste no levantamento de pontos que constituem o edifício ou estrutura, criando assim um modelo virtual a partir desses mesmos pontos. O *scanner* não pode operar sem um programa de digitalização instalado no computador, daí a presença fundamental deste último. O programa de digitalização permite melhorar a imagem digitalizada, corrigindo pontos destruídos, antes de exportá-la para um *software* de modelação 3D (El-Omari e Moselhi, 2011).



Figura 2.28 - Sistema de *scan* de laser (Rudi.net, 2014)

Por sua vez, a tecnologia fotogrametria é utilizada para extrair propriedades geométricas de objectos a partir de fotografias (El-Omari e Moselhi, 2008). A existência de câmeras de elevada qualidade tem permitido cada vez mais obter bons modelos 3D a partir de imagens fotografadas (Styliadis, 2007). O processo funciona através da colocação estratégica de alvos nos objectos a serem fotografados, identificando as coordenadas do alvo. Várias fotos de cada objecto são então tiradas segundo diferentes posições e ângulos. Uma das vantagens de fotogrametria é que as imagens captadas poderão mais tarde utilizadas para extrair informações sobre os objectos (El-Omari e Moselhi, 2008). Por isso, os mesmos autores apontam esta tecnologia como um bom complemento ao sistema de *scan* de laser. A figura 2.29 mostra a colocação dos alvos em posições estratégicas para a captura de imagens necessárias para a elaboração do modelo.



Figura 2.29 - Colocação de alvos no sistema de fotogrametria (El-Omari e Moselhi, 2008)

Os sistemas de identificação por radiofrequência consistem na colocação de uma etiqueta electrónica em objectos, que emite uma determinada frequência, permitindo a um leitor identificar esse objecto. Esta tecnologia começou a ser usada em larga escala em sistemas de portagens rodoviárias nos Estados Unidos da América, e desde aí foi aplicada com sucesso em várias áreas da indústria, entre elas a construção.



Figura 2.30 - Sistema de leitura de radiofrequência (INTERNATIONAL CODING TECHNOLOGIES INC., 2014)

Os sistemas de leitura através de código de barras funcional de forma semelhante aos sistemas de radiofrequência. É necessário um leitor e uma etiqueta, mas neste caso a etiqueta não possui qualquer componente electrónica. O sistema de leitura por código de barras é provavelmente o mais utilizado em todo o mundo para identificar objectos. É um sistema simples, funcio-

na bem, é fácil de utilizar e é barato comparativamente com outros sistemas. No entanto, o estado da etiqueta influencia fortemente a capacidade do leitor decodificar a etiqueta.

Os sistemas BIM podem também ser utilizados para medir a produção na construção. No subcapítulo 2.1.4 aborda-se precisamente esse tema.

3. METODOLOGIA

3.1. Ferramenta de Investigação

Para o desenvolvimento deste estudo optou-se por uma abordagem qualitativa, criando um modelo conceptual. Será utilizada uma ferramenta científica designada por SSADM (*Structured Systems Analysis and Design Methodology*). O SSADM é utilizado na Análise e Desenho Estruturado de Sistemas. Esta ferramenta é habitualmente usada pela Engenharia dos Sistemas de Informação, e permite, entre outras possibilidades, desenvolver aplicações informáticas cujo ciclo de vida se identifica com a típica cascata.

O SSADM foi criado em 1981, e desde então tem sido utilizado por todos os departamentos do governo do Reino Unido (Bielkowicz e Tun, 2001). Desde a sua criação, o SSADM sofreu várias evoluções, sendo a versão V4 + a mais recente. A abordagem do tipo “cascata” possui várias vantagens, das quais se destacam (Kuki, 2010):

- 1- Os requisitos necessários estão documentados,
- 2- A análise pode cobrir todas as áreas necessárias
- 3- O projecto pode ser optimizado quando todos os requisitos conhecidos estiverem incluídos;
- 4- A codificação e teste podem ser realizados de forma eficiente quando todas as áreas a serem cobertas forem conhecidas;
- 5- A gestão do projecto é facilitada, pois as tarefas necessárias são conhecidas.

As etapas do SSADM englobam uma parte da metodologia utilizada neste estudo. Em traços gerais, este estudo tem como objectivo a elaboração de um modelo conceptual que contribua para a definição de um método de actualização dos modelos BIM durante a fase de produção, ao mesmo tempo que procura reduzir os conflitos resultantes da medição de quantidades. No capítulo 1 da dissertação, através de uma revisão bibliográfica, são identificadas as lacunas no sector AEC que motivaram este estudo, ou seja, foram identificadas as necessidades.

Igualmente no capítulo 1, foi definida a problemática, ou seja, que soluções existem actualmente e que sejam relevantes para a resolução dos problemas identificados. É então identificado no panorama da investigação o espaço para o desenvolvimento deste estudo.

Tendo claramente sido identificadas a motivação e a problemática, recorreu-se a uma nova revisão bibliográfica para definir o estado do conhecimento. É então feita uma revisão do actual estado da tecnologia nas áreas onde este estudo incide, nomeadamente BIM, RA, e medição da produção na construção.

Tendo e conta a informação recolhida, o modelo é elaborado. No final, os resultados obtidos são discutidos, avaliando a capacidade que o modelo tem para responder aos requisitos para a qual foi criada, e são formuladas as conclusões. Tendo em conta os resultados obtidos, e na tentativa de os melhorar e lhes dar seguimento, são identificados futuros campos para pesquisa.

No subcapítulo 3.2 serão explicadas as 7 etapas que compõe o SSADM, e a que parte do trabalho corresponde cada uma delas.

3.2. Etapas do SSADM

A utilização desta ferramenta contempla 7 etapas distintas (Officer, 2012):

Etapa 0 - Estudo de Viabilidade

Etapa 1 – Investigação do Sistema Actual

Etapa 2 - Opções do Sistema Organizacional

Etapa 3 – Definição dos Requisitos

Etapa 4 – Opções Técnicas do Sistema

Etapa 5 – Desenho Lógico

Etapa 6 – Desenho Físico

3.2.1. Etapa 0 – Estudo de Viabilidade

Um estudo de viabilidade pretende avaliar se o sistema proposto pode efectivamente cumprir os requisitos da função para a qual foi desenhado (Officer,2012). Neste estudo, concretamente, será feita uma análise aos principais desafios com que o sector AEC actualmente se confronta, relacionados com a medição de quantidades em obra e actualização de modelos BIM. Será ainda averiguada a existência de tecnologia que dê suporte ao novo sistema proposto por esta investigação.

A etapa 0 consta dos capítulos 1 e 2, e consiste numa revisão bibliográfica.

3.2.2. Etapa 1 - Investigação do Sistema Actual

Na etapa 1, também designada por Revisão Tecnológica, procurar-se-á obter uma visão global do sistema actual, nomeadamente ao nível da medição de quantidades em obra e actualização de modelos BIM. Serão identificadas ainda as principais deficiências apontadas a esses processos.

A etapa 1 será elaborada a partir de uma revisão bibliográfica, e consta, à semelhança da etapa 0, nos capítulos 1 e 2 da presente dissertação.

3.2.3. Etapa 2 - Opções do Sistema Organizacional

Na etapa 2 os conhecimentos reunidos nas etapas 0 e 1 serão fundamentais para definir todo o conjunto de relações necessários à definição do sistema. Será proposto um modelo através da qual será possível proceder à actualização dos modelos BIM durante a fase de construção. A etapa 2 está descrita no subcapítulo 4.1.

3.2.4. Etapa 3 – Definição dos Requisitos

O objectivo da etapa 3 é especificar detalhadamente quais os requisitos do modelo relativamente ao fluxo de dados. Serão definidos claramente quais os *inputs* necessários, quais os *outputs* resultantes, identificando as relações lógicas que terão de existir entre sistemas.

As ligações lógicas definidas serão exemplificadas através de Diagramas de Fluxo de Dados (DFD). Um DFD é uma ferramenta de modelação gráfica, da análise estruturada, que permite representar um sistema como uma rede de actividades ligadas por canais e armazéns de dados. É uma das ferramentas mais usadas quando as actividades do sistema a modelar são mais complexas do que os dados que o sistema manipula, e dá-nos uma só visão do sistema, a visão orientada por funções ou actividades. Esta fase da metodologia encontra-se nos subcapítulos 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7

3.2.5. Etapa 4 – Opções Técnicas do Sistema

A etapa 4 será tratada no capítulo 5 da dissertação, Análise e Discussão dos Resultados. Anteriormente, na etapa 3, será abordada a vertente funcional do modelo. Nesta fase, tratar-se-á da implementação. Serão definidos quais os requisitos para que o sistema funcione sem falhas, ao mesmo tempo que se identificam as limitações da sua implementação.

3.2.6. Etapa 5 – Desenho Lógico

O objetivo da etapa 5 é projetar a estrutura de menus para estabelecer a interface com o utilizador (Officer, 2012).

3.2.7. Etapa 6 – Desenho Físico

A última etapa da ferramenta SSADM foca-se no teste do sistema criado bem como na construção dos manuais de utilização.

3.2.8. Aplicação do SSADM

A presente investigação incidirá nas fases 0 a 4 do SSADM. Para a definição das fases 5 e 6 seriam necessários conhecimentos técnicos avançados de programação informática e, por isso, estas duas fases estão fora do âmbito desta investigação.

A figura 3.1 resume a metodologia utilizada no estudo, fazendo corresponder a cada uma das suas fases uma etapa do SSADM.

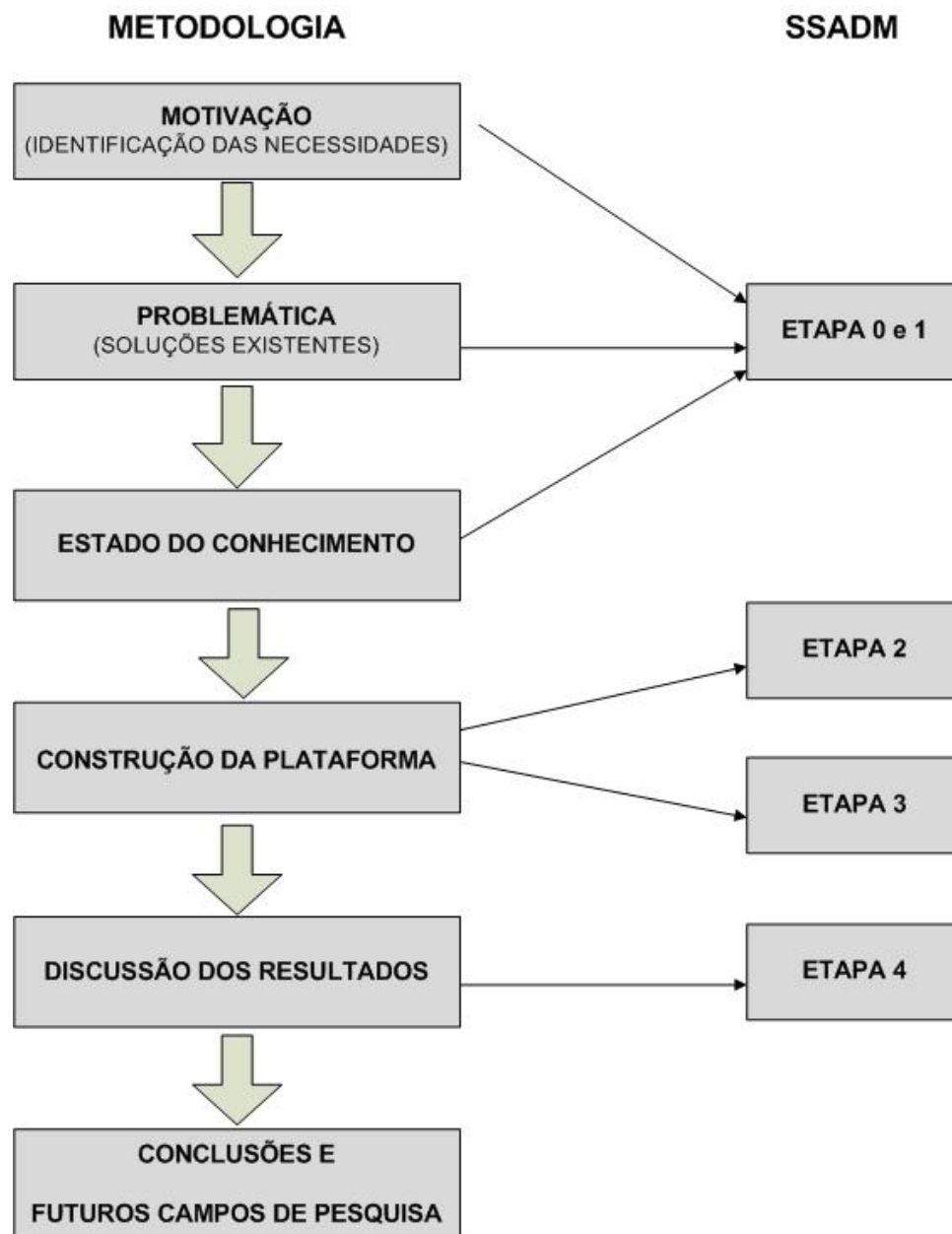


Figura 3.1 - Metodologia e aplicação do SSADM

4. PROPOSTA DE MODELO

4.1. Definição do Modelo

O modelo que será proposta tem como objectivo principal a actualização de modelos BIM durante a fase de construção, ao mesmo tempo que se espera reduzir os conflitos entre os intervenientes no processo construtivo, relacionados com a medição de quantidades. Para o conseguir, o modelo propõe que os autos de medição passem a ser realizados a partir de quantidades retiradas directamente dos modelos BIM, com a recolha de dados a ser feita através de RA. Ao mesmo tempo que são medidas as quantidades, são identificadas as alterações ao projecto, registadas numa base de dados, e o modelo BIM é actualizado.

O modelo tem como ponto de partida a utilização por parte do empreiteiro e dono de obra do mesmo modelo BIM. O modelo BIM, que é desenvolvido durante a fase pré-construção, deverá possuir ligação com o MQT (Mapa de Quantidade de Trabalhos). Esta ligação, estudada entre outros por Monteiro e Martins (2013) e Grazina e Cachadinha (2013), assegura a existência de uma correspondência entre as linhas do MQT e os elementos do modelo BIM. A informação relativa às dimensões dos objectos e materiais utilizados será condensada numa base de dados denominada “base de dados previsto” (BDP).

De seguida serão medidas as quantidades para alimentar os autos de medição, com recurso a tecnologia de RA, e simultaneamente são também identificados os materiais utilizados. A informação recolhida é depositada numa base de dados denominada “base de dados realizado” (BDR). Uma vez que é garantida previamente a ligação entre o modelo BIM e o MQT, as quantidades extraídas podem ser utilizadas directamente para preencher as linhas do MQT.

Comparando a BDP com a BDR são identificadas as alterações ao modelo original. Como se explicará adiante, as alterações podem ser de vários tipos. Uma vez identificadas, as alterações são registadas numa lista, denominada “Lista de Alterações”, e através dessa lista o modelo BIM será actualizado. O processo é então repetido até ao final da obra e, no final, o modelo BIM actualizado designar-se-á por “Modelo BIM *As-Built* Final”. Este modelo ficará na posse do Dono de Obra, do Empreiteiro e, numa fase posterior, também na posse do futuro proprietário da construção.

A presente dissertação pretende seguir uma linha de investigação iniciada há vários anos na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT-UNL), assente na área de BIM, e dá seguimento directo ao trabalho desenvolvido por Grazina e Cachadinha (2013). Nesse estudo foi proposta uma plataforma que permite medir o progresso de uma obra com recurso a BIM e RA, ao mesmo tempo que o planeamento é ajustado automaticamente. Pretende-se no caso deste estudo abordar outros aspectos relacionados com o controle de obras, concretamente os

custos (autos de medição), ao mesmo tempo que essa monitorização serve como garantia de actualização dos modelos BIM.

Na figura 4.1 apresenta-se uma visão global do modelo proposto.

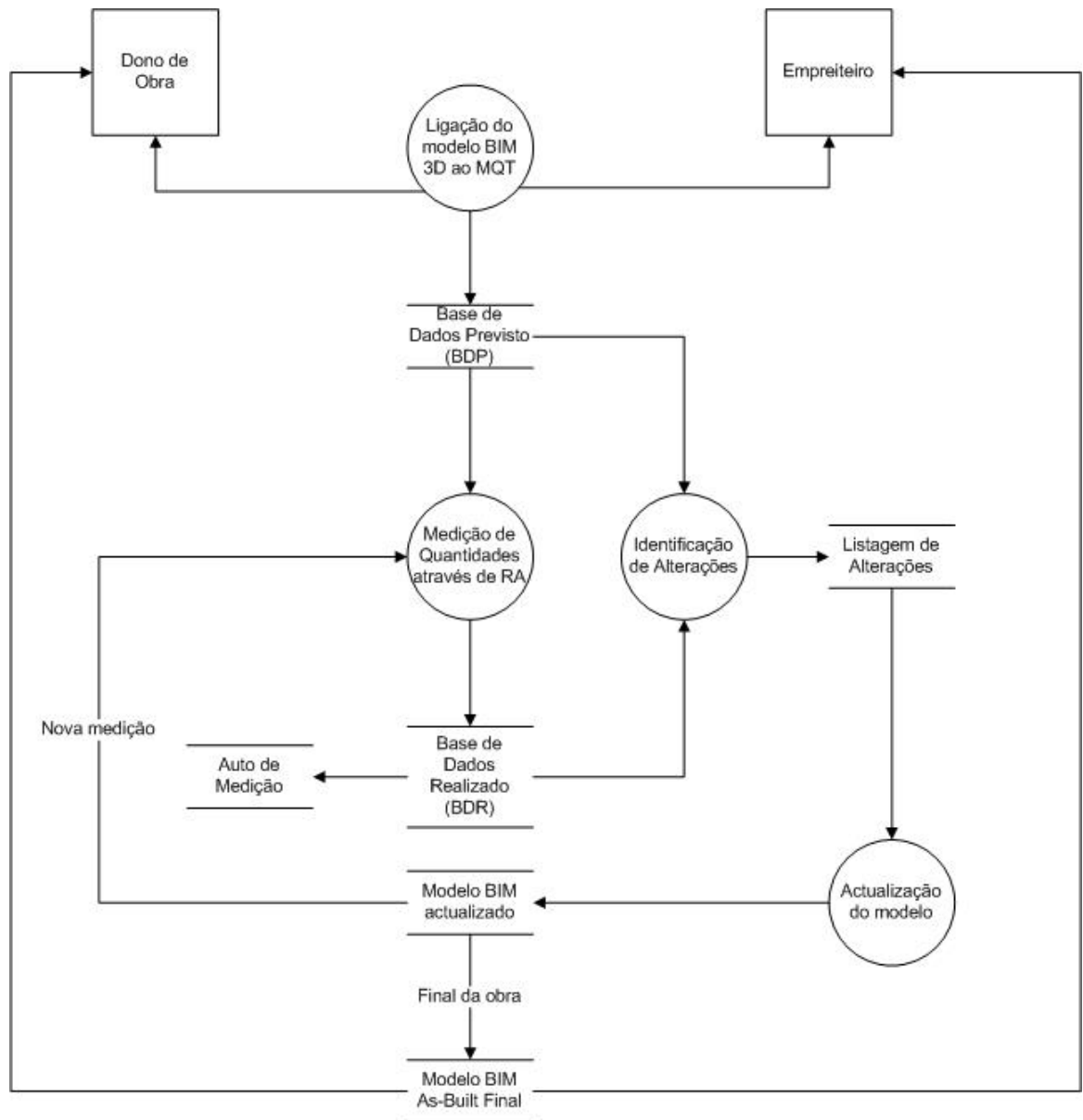


Figura 4.1- Visão geral do modelo

4.2. Modelo BIM com ligação ao MQT

Uma das funcionalidades do modelo proposto é a alimentação dos Autos de Medição com quantidades extraídas do modelo BIM. Para que isso seja possível, sem necessidade de adaptações por parte de um operador humano, as linhas do MQT têm forçosamente de ser representadas por um ou vários objectos no modelo BIM. Pelo contrário, o mesmo objecto não pode estar associado a duas linhas do MQT.

A ligação entre o modelo BIM e o MQT tem sido alvo de estudo nos últimos, à medida que a medição de quantidades vem sendo apontada como uma das funcionalidades das ferramentas BIM com maior potencial. No entanto, a utilização directa das quantidades retiradas do modelo para preenchimento dos Autos de Medição depende fortemente da correcta ligação entre os objectos do modelo e as linhas do MQT (Monteiro e Martins, 2013).

O modelo BIM necessário para cumprir os requisitos do modelo conceptual será um modelo 3D. Neste caso, não existe necessidade de atribuir informação relativa à execução dos elementos (data de início e data de fim: modelos 4D) bem como dos custos associados a cada elemento (modelos 5D). Embora um dos objectivos do modelo conceptual proposto seja a medição de quantidades para alimentar os Autos de Medição, o controlo de custos não será feito através da ferramenta BIM. Na figura 4.2 exemplifica-se a ligação entre o modelo BIM e o MQT.

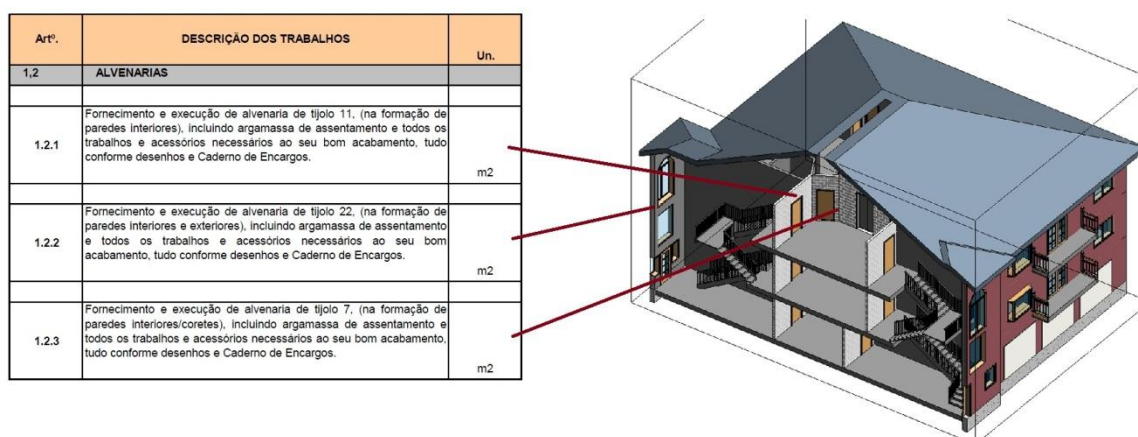


Figura 4.2 – Ligação do modelo BIM ao MQT. Adaptado de Arquimedia (2013)

O modelo BIM 3D utilizado pelo dono de obra (que é representado pela empresa de fiscalização) e pelo construtor será o mesmo. Na fase de modelação deverá ter-se em consideração o MQT, definindo elementos que possam representar com clareza as linhas desse documento, sendo que o nível de detalhe do modelo será tão aprofundado quanto necessário para que isso se verifique. O modelo poderá possuir detalhe a mais, mas nunca a menos. A definição de filtros será fundamental para facilitar o processo de medição, possibilitando ao utilizador a visualização apenas dos elementos que pretende medir, ocultando o resto da informação.

Outro dos aspectos a ter em consideração na fase de modelação é que o modelo definido será utilizado na última fase do ciclo de vida da construção, a fase de exploração. É importante que, tendo em conta o tipo de utilização a que a construção se destina, sejam modelados os elementos que irão previsivelmente ser alvo de intervenção no futuro. Tem-se como exemplo a modelação das portas interiores de um edifício de escritórios. Para efeitos de medição de quantidades bastaria modelar apenas um elemento, uma vez que no MQT a execução deste elemento surge frequentemente como um todo, ou seja, o item engloba todo o conjunto de peças, acessórios

e tarefas necessárias para a montagem das portas. No entanto, para efeitos de manutenção, é previsível que dado o tipo de utilização do edifício seja necessária a substituição das fechaduras várias vezes ao longo do tempo de vida útil do edifício. Neste caso, será útil modelar também a fechadura para que, quando for necessária a sua troca, o técnico consiga imediatamente identificar qual o tipo de fechadura a ser montada.

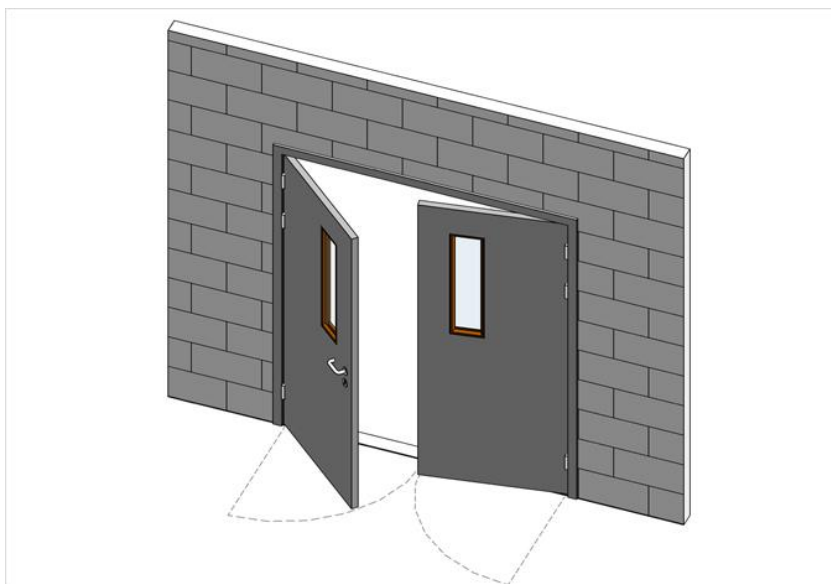


Figura 4.3 – Porta modelada com pormenor da fechadura (Leaderflush, 2014)

Como sistema integrado de informação, o BIM permite anexar aos objectos um conjunto de dados que podem ser relevantes para utilização do modelo na fase de exploração. Esquemas de montagem, manuais de utilização, informações técnicas entre outros documentos podem ser anexados aos objectos garantindo assim, durante a fase de exploração, quando necessário, o rápido acesso a essa informação. Deste modo, o modelo 3D utilizado pelo modelo conceptual deverá ser enriquecido com toda a informação disponível e que se entenda poder ser útil na fase de exploração. Tomando como exemplo uma torneira instalada no lavatório de uma casa de banho do mesmo edifício referido em cima, o objecto 3D “torneira” deverá conter, pelo menos, a informação relativa ao modelo e fabricante para que, em caso de avaria, facilmente se proceda à montagem de uma nova torneira igual à original.

4.3. Base de Dados Previsto (BDP)

Por forma a conseguir identificar as alterações ao projecto inicial, é necessário comparar o que foi planeado com o que foi efectivamente construído. Mais adiante serão identificados os diversos tipos de alterações possíveis, no entanto, nesta fase, serão considerados duas tipologias gerais: alterações ao nível das dimensões dos objectos e alterações nos materiais utilizados. No subcapítulo 4.6 estas duas tipologias serão divididas em vários tipos de alterações. A BDP resultará directamente da informação condensada no modelo BIM 3D com ligação ao MQT.

Para conseguir identificar alterações relacionadas com alterações nas dimensões dos objectos, um dos parâmetros que deverá fazer parte da BDP é a quantificação de cada objecto, que pode ser definida em várias grandezas diferentes. As mais frequentes são unidades, metros lineares, metros quadrados e metros cúbicos, mas é possível encontrar algumas actividades nos mapas de quantidades que não são medidas por nenhuma destas grandezas, como por exemplo a montagem e desmontagem de um estaleiro.

Para se identificarem as alterações ao nível dos materiais, a BDP terá de ter ainda um parâmetro com indicação do tipo de material, ou materiais, usados na construção desse objecto.

A BDP terá a sua organização baseada no MQT. Na figura 4.3 está esquematizada a organização da BDP.

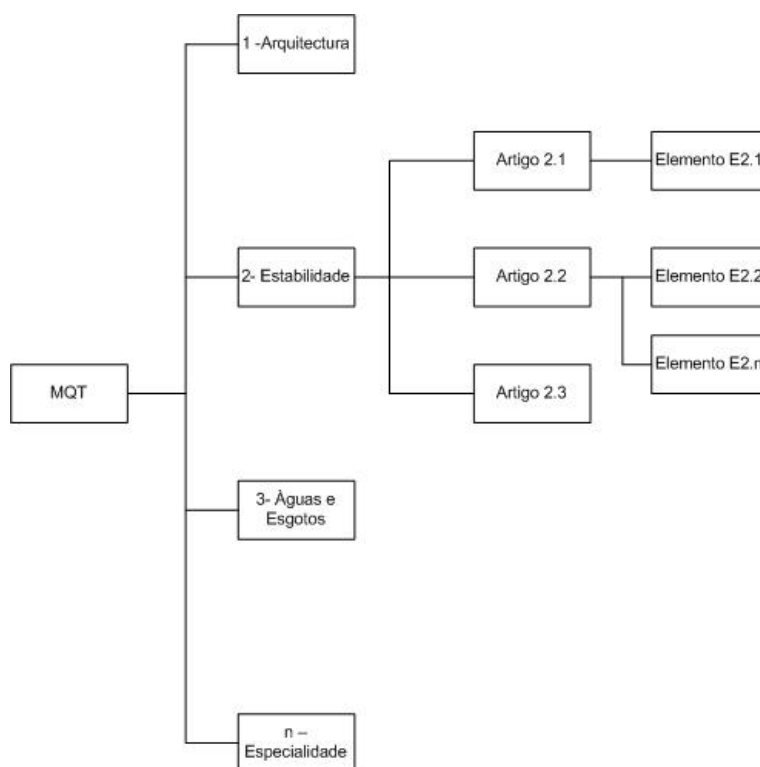


Figura 4.4 – Base de Dados Previsto

Como pode ver-se através da figura 4.4, ao mesmo item do MQT pode corresponder um ou vários elementos do modelo BIM.

Tal como foi referido, os elementos serão definidos por dois parâmetros, sendo eles a quantidade e os materiais.

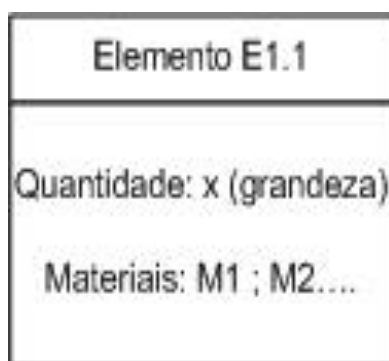


Figura 4.5 – Parâmetros que definem um elemento

4.4. Medição de Quantidades e Base de Dados Realizado (BDR)

Para conseguir manter os modelos BIM actualizados ao longo da fase de construção, o modelo conceptual proposto neste estudo propõe que os autos de medição passem a ser feitos com recurso a quantidades extraídas directamente dos modelos 3D, sendo que a RA será utilizada para garantir a visualização do modelo BIM no local de construção.

Como referido anteriormente, este trabalho visa dar continuidade ao estudo levado a cabo por Grazina e Cachadinha em 2013. A problemática da medição de quantidades com recurso a um dispositivo de RA, servindo de visualizador do modelo BIM na obra, foi abordada nesse estudo, e como tal no presente apenas será feita uma adaptação desses procedimentos aos requisitos do modelo que aqui se propõe.

Por forma a conseguir sobrepor o modelo 3D do projecto com os objectos reais construídos, através da RA, será utilizado um dispositivo móvel, do tipo *smartphone* ou *tablet*. O computador portátil, apesar de poder ser também utilizado, torna-se pouco prático para utilização em obra e por isso não se recomenda a sua utilização. De uma forma geral, o processo de medição de quantidades pode ser descrito nos seguintes passos:

- 1- O utilizador direcciona o aparelho para o elemento que deseja medir e selecciona-o no visor;

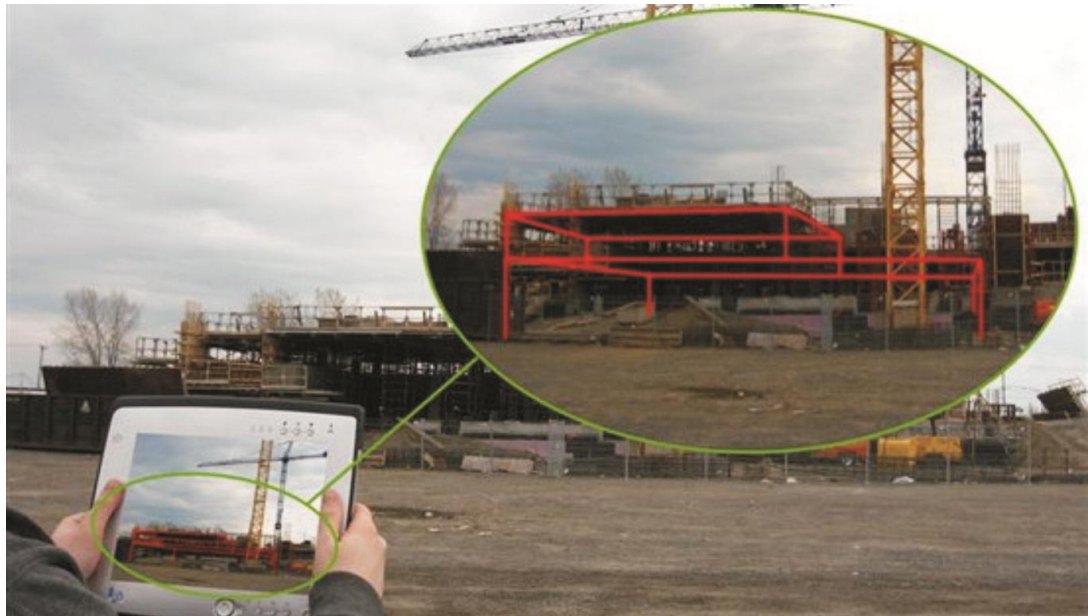


Figura 4.6 - Sobreposição do modelo BIM com a realidade (Balakrishna, 2013)

- 2- O sistema identifica o elemento e o utilizador confirma que a identificação está correcta



Figura 4.7 - Confirmação do elemento seleccionado

- 3- O sistema apresenta os materiais utilizados no elemento e o utilizador confirma se correspondem aos que foram utilizados em obra

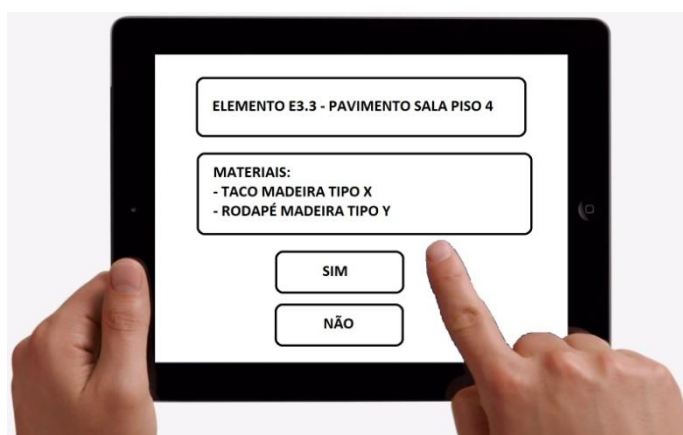


Figura 4.8 - Confirmação dos materiais utilizados

- 4- Se os materiais utilizados forem diferentes, o utilizador é solicitado para introduzir os novos materiais utilizados

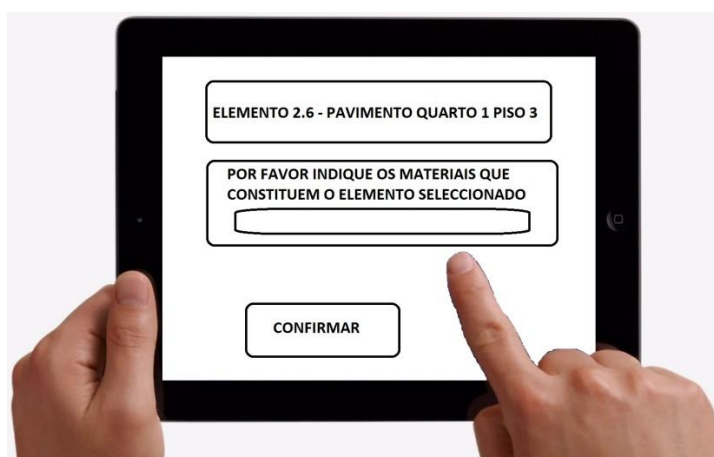


Figura 4.9 - Introdução dos materiais utilizados

- 5- O sistema questiona o utilizador sobre a conclusão do objecto seleccionado (100%). O utilizador selecciona a hipótese “sim” ou “não”.

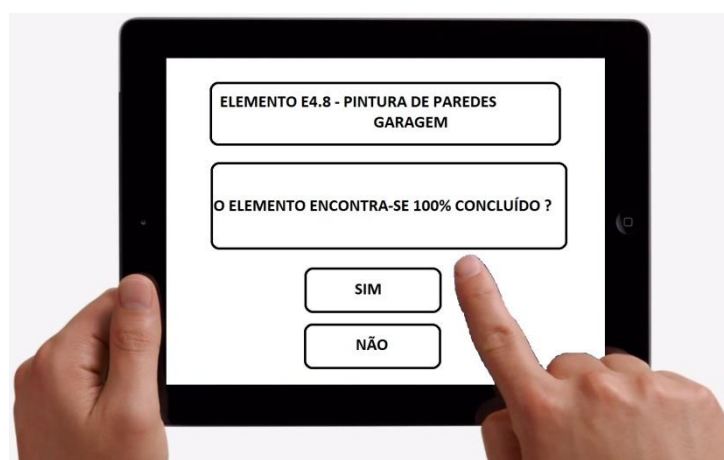


Figura 4.10 - Indicação de conclusão do elemento

- 6- O utilizador é solicitado a seleccionar a área do elemento que se encontra concluída.



Figura 4.11- Selecção de área de elemento concluído

- 7- Através da informação introduzida pelo utilizador, o sistema alimenta a BDR

A Base de Dados Realizado tem a sua estrutura semelhante à Base de Dados Previsto. Os parâmetros “materiais” e “quantidade” serão definidos com base na informação inserida pelo utilizador. No caso de o elemento estar concluído a 100 %, com as mesmas dimensões e os materiais utilizados serem os mesmos que estavam definidos no projecto, os parâmetros “materiais” e “quantidade” manter-se-ão iguais à BDP. No caso de haver alterações ao nível dos materiais ou se o progresso do elemento for diferente de 100% (este está definido entre 0% e 100%) os parâmetros são actualizados.

Elemento E3.3
Quantidade: 30 m2
Materiais: M1:Tacos Madeira Tipo X M2: Rodapé Madeira Tipo y

Figura 4.12 - Elemento da Base de Dados Realizado

4.5. Autos de Medição

O modelo proposto no presente estudo estabelece que as quantidades utilizadas nos autos de medição são extraídas directamente do modelo BIM. No subcapítulo 4.2 abordou-se a questão da ligação do modelo BIM ao MQT, ficando aí definido que cada linha do MQT será definida por um ou vários objectos do modelo 3D. A cada objecto do modelo 3D corresponde um elemento da

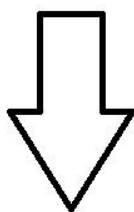
BDR, sendo assim possível associar o parâmetro “quantidade” dos elementos da BDR às linhas do MQT.

No caso de uma linha do MQT ser definida por apenas um objecto 3D, e consequentemente um elemento da BDR, a correspondência é directa, e o valor do parâmetro “quantidade” pode ser utilizado para preencher aquela linha do MQT. Por outro lado, quando uma linha do MQT é representada por vários objectos do modelo BIM, a correspondência não é directa uma vez que temos vários valores de quantidades que irão alimentar apenas uma linha do MQT. Nestes casos, o valor da quantidade que irá alimentar essa linha terá de ser determinado pelo utilizador, com base nas quantidades associadas a cada elemento que tem correspondência com a linha.

Tem-se como exemplo uma linha de MQT denominada “Fornecimento e assentamento de painel de cobertura, tipo sanduíche, com espessura de 50 mm de isolamento, e caleiras em dupla chapa e com isolamento intermédio, incluindo todos os acessórios, acabamentos e remates necessários”. A unidade de medida associada a esta linha é metros quadrados. Para representar esta linha do MQT, normalmente, apenas seria modelada a chapa de cobertura. Porém, para que todo o potencial do modelo BIM seja utilizado na fase de exploração, terão forçosamente de ser modelados dois elementos distintos, sendo eles a chapa de cobertura e a caleira. Estes dois objectos, apesar de fazerem parte da mesma linha do MQT, são quantificados em diferentes unidades. A chapa de cobertura é quantificada em metros quadrados enquanto que a caleira é quantificada em metros lineares. Numa situação em que a chapa esteja totalmente acabada, mas a caleira ainda não esteja colocada, terá o operador de encontrar um valor razoável para alimentar a linha do MQT, que não pode ser a área total das chapas, uma vez que falta concluir a caleira. Por esta razão, e tendo sempre em linha de conta a utilização do modelo na fase de exploração, a modelação 3D deve procurar representar cada linha do MQT, sempre que possível, apenas com um objecto.

O valor do parâmetro “quantidade” será assim utilizado para preencher as linhas do MQT. Essa transferência de dados será feita de forma semi-automática. Numa primeira fase, depois de terminadas as medições, o modelo dará como output uma tabela, em formato tipo Excel, onde a cada elemento fará corresponder um valor de quantidade medida. Depois, um operador preencherá as linhas do MQT com base na correspondência entre os elementos e as linhas do MQT.

Elemento BDR	Unidade	Quantidade
1.21	m2	x
1.22	m	y
1.23	m	z
1.24	un	k



Artº.	Elemento BDR	DESCRIÇÃO DOS TRABALHOS	Un.	Quantidade
1.2		ALVENARIAS		
1.2.1	1.21 1.22	Fornecimento e assentamento de painel de cobertura, tipo sanduíche, com espessura de 50 mm de isolamento, e caleiras em dupla chapa e com isolamento intermédio, incluindo todos os acessórios, acabamentos e remates necessários. (medido em planta)	m2	(x,y)
1.2.2	1.23	Fornecimento e aplicação de tubos de queda 90x110, em alumínio lacado, na cor cinza escuro, RAL 7043, incluindo todos os trabalhos e acessórios necessários ao seu bom acabamento.	m	z
1.2.3	1.24	Fornecimento e aplicação de funil quadrangular, em chapa de alumínio lacado, cinza escuro Ral 7043, incluindo todos os trabalhos e acessórios necessários ao seu bom acabamento.	un	k

Figura 4.13 - Preenchimento dos Autos de Medição

4.6. Identificação de Alterações

Um dos objectivos principais do modelo conceptual é identificar alterações aos projectos de construção, registando-as, e posteriormente actualizar o modelo BIM. Para que esse processo seja possível, identificaram-se os tipos de alterações mais frequentes aos projectos de construção, tendo sido criada uma classificação para as alterações aos projectos de construção. A tabela 2 resume a classificação que foi criada.

ALTERAÇÕES AOS PROJECTOS DE CONSTRUÇÃO	
Tipologia	Descrição
Tipo 1	Um elemento apresenta diferentes dimensões
Tipo 2	Introdução de um novo elemento
Tipo 3	Um elemento apresenta diferentes materiais
Tipo 4	Um elemento apresenta diferentes dimensões e diferentes materiais
Tipo 5	Supressão de um elemento

Tabela 2 - Tipos de alterações aos projectos de construção

Tendo em conta os tipos de alterações definidos na classificação criada, o modelo será capaz de, analisando um determinado elemento, identificar se houve ou não uma alteração ao projecto. A base deste processo é a comparação entre a BDP e a BDR, mais concretamente, entre os valores dos parâmetros.

Começando com as alterações do tipo 1, que estão relacionadas com a dimensão dos elementos construídos, o modelo fará a comparação do parâmetro “quantidade” entre a BDP e a BDR. Neste caso têm-se dois cenários diferentes: aumento da dimensão e redução da dimensão. Quando se trata de um aumento da dimensão, o modelo compara o valor do parâmetro “quantidade” da BDP com o da BDR e conclui que este sofreu um aumento.

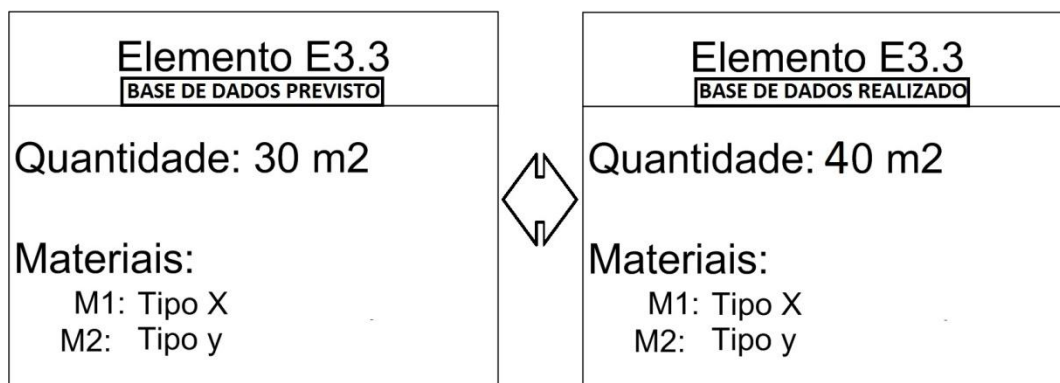


Figura 4.14 - Comparação da BDP com a BDR

Tome-se como exemplo a execução de um muro em alvenaria de tijolo. Durante a obra, por indicação do dono de obra, a altura do muro é aumentada, passando de 2,0 m para 2,20 m. Quando é feita a medição, o operador insere no sistema a informação de que o elemento está ou não concluído a 100 %, e mede a área de muro que foi construída. Através da comparação acima descrita, o sistema verifica que o valor do parâmetro aumentou, e por isso conclui que houve uma alteração ao projecto. No caso de operador indicar que o elemento se encontra concluído, o sistema pede ao operador que descreva resumidamente qual a alteração que foi efectuada. Porém, se o operador indicar que o elemento não está concluído, o pedido para descrição da alteração não é efectuado, surgindo apenas quando o operador indicar que o elemento está concluído. O objectivo

é evitar o sucessivo registo de alterações num elemento, sendo feito apenas um registo quando este é concluído.

Quando a alteração de dimensão se caracteriza por uma diminuição das dimensões de um elemento, as alterações apenas são confirmadas quando o utilizador indica que o elemento está concluído, uma vez que só nessa altura pode concluir-se que a diminuição de dimensões é efectiva e não resulta do facto de o elemento não estar concluído.

A informação introduzida pelo operador relativa às alterações de quantidades será armazenada na “Lista de Alterações”, onde a cada elemento estará associada a respectiva alteração.

ELEMENTO	DESCRIÇÃO	ALTERAÇÃO PARÂMETRO QUANTIDADE
3.5	Muro do Jardim	Alteração da área por aumento da altura de 2,0 m para 2,20 m
4.10	Parede Interior Sala 1	Alteração da área por aumento do vão de porta de 1,0 m para 1,5 m
8.9	Calçada Exterior Jardim	Alteração da área por diminuição de 1m no comprimento da zona verde

Figura 4.15 - Lista de Alterações com exemplo de alterações do tipo 1

As alterações do tipo 2 dizem respeito à introdução de novos elementos. Uma vez que esses elementos não constam do projecto inicial, quando o operador efectua a medição não consegue visualizar o objecto BIM sobreposto à realidade. Neste caso, o sistema permite que o operador aceda ao documento “Lista de Alterações” e introduza um novo elemento, acompanhado de uma descrição tão detalhada quanto necessário para que o modelo BIM possa ser actualizado com este novo elemento.

As alterações do tipo 3 estão relacionadas com a alteração dos materiais de um elemento. Aqui pode incluir-se não só o tipo de material como também um equipamento que foi trocado por outro semelhante, com diferentes características. Tal como nas alterações de tipo 1, a detecção da alteração será feita através da comparação entre a BDP com a BDR, só que neste caso o parâmetro comparado será o parâmetro “materiais”. No processo de medição, na sua fase inicial, o operador é solicitado a confirmar se os materiais utilizados no elemento correspondem aos que foram definidos no projecto. Se o operador escolher a opção “sim” o sistema atribui ao parâmetro “materiais” da BDR o mesmo valor que na BDP. Significa assim que não houve alteração ao nível dos materiais. Pelo contrário, caso o operador escolha a opção “não”, é solicitado a introduzir os novos materiais que compõem o elemento. Essa informação ficará registada no parâmetro “mate-

riais” da BDR. Na “Lista de Alterações” a coluna das alterações é então actualizada com o valor do parâmetro “materiais” da BDR.

ELEMENTO	DESCRIÇÃO	ALTERAÇÃO
6.12	Pintura de Paredes Interiores Quarto 3	Aplicação de tinta do mesmo tipo com o código de cor XXXX
7.15	Pavimento WC Piso 2	Alteração do revestimento para ladrilhos do tipo YYYY
12.1	Porta Entrada Principal	Alteração por uma com as mesmas dimensões, do tipo ZZZZ

Figura 4.16 - Lista de Alterações com exemplo de alterações do tipo 3

No caso das alterações do tipo 4, que correspondem a uma alteração ao nível das quantidades e dos materiais, o processo decorrerá de forma semelhante às alterações de tipo 2 em conjunto com as do tipo 3. O preenchimento da “Lista de Alterações” será feito de forma parcial, com as alterações relativas às quantidades a serem introduzidas manualmente, enquanto que as alterações de materiais são registadas de forma automática.

As alterações de tipo 5 correspondem à supressão de um elemento, ou seja, quando durante a obra é determinado que um certo elemento não irá ser construído. Pode ainda ter-se o caso de um elemento já construído ser removido. Nestes casos, o operador consegue identificar no monitor do dispositivo de RA que não existe correspondência do elemento BIM a nenhum elemento real. O utilizador registará então essa informação na “Lista de Alterações”, de forma manual.

4.7. Actualização do modelo BIM e Modelo BIM *As-Built* Final

Nos capítulos 1 e 2 provou-se a necessidade de actualização dos modelos BIM e a ligação que existe entre essa necessidade e a utilização dos modelos na fase de exploração das construções. Actualizar os modelos BIM é portanto um dos objectivos fulcrais do modelo que aqui é proposto.

Uma vez registadas as alterações ao modelo BIM no documento “Lista de Alterações”, é necessário que o mesmo seja actualizado com essa informação. O modelo conceptual prevê que cada vez que são feitas medições em obra, devido à necessidade de elaboração dos autos de medição, sejam também identificadas as alterações ao projecto inicial. Por isso, a lista de alterações vai ser actualizada cada vez que um auto de medição for feito. A periodicidade dos autos de medição é variável, e está definida no caderno de encargos de cada obra.

A cada nova medição, o documento “Lista de Alterações” é actualizado e automaticamente enviado para a equipa de projecto, que manualmente procederá às alterações necessárias no

modelo. O processo de actualização do modelo BIM decorrerá assim ao mesmo tempo que a obra e, no final, o modelo BIM será capaz de representar fielmente o que foi construído. Esse modelo BIM é designado por “Modelo BIM *As-Built* Final”

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

5.1. Modelo – Análise Geral

O modelo que é proposto neste estudo foi elaborado na tentativa de dar resposta aos problemas identificados no capítulo 1 e 2. O mais importante, e que serviu de fio condutor a esta dissertação, é o facto de a actualização dos modelos BIM ser frequentemente ignorada durante a fase de construção. Todo um conjunto de alterações, mais ou menos significativas, levadas a cabo durante esta fase, não são registadas no modelo BIM e, no final, o modelo não representa da mesma forma todos os detalhes do projecto. Ao não ser capaz de representar a realidade de forma fiel, o modelo BIM vê assim comprometida a sua utilidade para a fase de exploração. O apoio às tarefas levadas a cabo na fase de exploração das construções é uma das áreas onde a literatura refere que o BIM tem maior potencial. Estudos como o de Clemente e Cachadinha (2012) provaram isso mesmo, e contribuem decisivamente para a motivação presente neste trabalho.

Uma das preocupações tida em conta na elaboração do modelo foi encontrar uma forma de garantir que o mecanismo de actualização dos modelos BIM aqui proposto fosse assegurado por uma necessidade real, quer por parte do empreiteiro quer por parte do dono de obra. Por muito que o modelo conceptual cumpra os requisitos principais (actualizar os modelos BIM durante a fase de produção), muito dificilmente seria implementada em casos reais se os intervenientes não entenderem a sua importância. Resumidamente, procurou-se que o objectivo principal do modelo resulte de um processo que seja obrigatório em todas as obras, neste caso, a produção de autos de medição. Ao realizar as medições necessárias para alimentar os autos a partir de um dispositivo de RA, que assegura o transporte do modelo BIM para o local de construção, o sistema detecta as alterações efectuadas ao projecto original e regista-as numa lista, que posteriormente é enviada para a equipa de projecto para que o modelo seja então actualizado. Desta forma, ao serem produzidos os autos de medição, está-se ao mesmo tempo a garantir a actualização dos modelos BIM.

Ao ser aceite quer pelo empreiteiro quer pelo dono de obra, a medição de quantidades a partir do modelo BIM vem contribuir para a resolução de um problema há muito identificado no sector da construção, que está relacionado com divergências na informação recolhida pelas duas partes envolvidas. As quantidades apuradas pela fiscalização são frequentemente diferentes das apuradas pelo empreiteiro. Este problema, tal como foi referido no capítulo 1, está relacionado com vários factores. Por um lado, por ser um processo que habitualmente é feito de forma manual, por um operador humano, está sujeito a erros e imprecisões. Por outro lado, a ausência de uma regra oficial de medição faz com que diferentes intervenientes tendam a medir elementos iguais de forma diferente. Isto obviamente origina divergências nas quantidades apuradas. Tudo

isto contribui assim para a existência de conflitos entre a fiscalização, que representa o dono de obra, e o empreiteiro.

O modelo propõe que a medição das quantidades para alimentar os autos de medição seja feita a partir dos modelos BIM, utilizando para tal a tecnologia de RA para visualizar o modelo em obra, num dispositivo portátil. É possível ao operador identificar que parte do elemento se encontra concluída e deste modo o sistema calcula automaticamente o valor que deve atribuir à quantidade. Uma vez que tanto a fiscalização como o empreiteiro estarão a trabalhar com o mesmo modelo BIM, um requisito definido pelo modelo conceptual, não haverá divergência nas quantidades apuradas.

Verifica-se ainda que o modelo conceptual consegue assegurar que seja tanto do interesse do dono de obra como do empreiteiro registar as alterações ao projecto e manter assim o modelo BIM actualizado. Todos os pagamentos feitos pelo dono de obra ao empreiteiro têm como base a informação contida nos autos de medição. Se existirem alterações ao projecto, o empreiteiro vai querer certamente registá-las a fim de ver todos os trabalhos a mais pagos. Do ponto de vista do dono de obra, só irá pagar os quantidades que efectivamente foram extraídas do modelo, e por isso também é de todo o seu interesse manter o modelo o mais actualizado possível.

5.2. Modelo BIM com ligação ao MQT

A ligação do modelo BIM com o MQT é uma das etapas chave do modelo proposto. O processo consiste em associar a cada linha do MQT elementos do modelo, por forma a conseguir representá-la. Indicar que esses elementos estão concluídos significa pois que a linha do MQT à qual dão correspondência está também ela concluída.

O modelo prevê que cada linha do MQT seja representada por um ou vários elementos do modelo, garantindo também que cada elemento não possa estar associado a mais do que uma linha do MQT. Se tal não acontecesse, e tivéssemos, por exemplo, um elemento 3D a representar mais do que uma linha do MQT, a produção dos autos de medição revestir-se-ia de uma grande complexidade e muitas vezes nem seria possível. Imagine-se o exemplo de um MQT onde a execução de uma parede tem 2 itens associados, a construção da parede propriamente dita e a pintura. Se apenas modelássemos a parede como um elemento só e no momento da medição a pintura ainda não estivesse concluída, se fosse indicado que o elemento estava concluído significaria indicar que tanto a parede como a pintura estavam concluídos, quando na realidade a segunda tarefa ainda não tinha sido iniciada. Desta forma, percebe-se a importância da condição acima descrita que, cumprida, permite a utilização directa das quantidades retiradas do modelo na alimentação dos autos de medição.

A representação das linhas do MQT através de elementos do modelo BIM é um processo determinante no correcto funcionamento do modelo conceptual. Mas se existem itens do MQT

que são fáceis de representar por um elemento 3D, outros não apresentam essa facilidade. Tarefas como montagem e desmontagens de um estaleiro, desmatação e nivelamento de terras, compactação de terras ou uma simples operação de limpeza constituem uma enorme dificuldade para representar através de um elemento 3D. Algumas delas são mesmo impossíveis de representar.

Ao contrário de um sistema para controle do planeamento ou custos, o modelo BIM utilizado pelo modelo conceptual será do tipo 3D. Para a medição de quantidades apenas é necessária a definição geométrica dos elementos. Outros detalhes como a ligação com o planeamento, incluindo a data de início e data de fim de execução dos elementos, bem como a informação de custos, são dispensados. Na verdade, esse tipo de informação apenas tornaria a modelação um processo ainda mais trabalhoso, não acrescentando a este modelo conceptual qualquer tipo de vantagem.

Outra das premissas chave na concepção do modelo conceptual é a utilização por parte do empreiteiro e fiscalização do mesmo modelo BIM. Essa condição garante que, quando se efectuam as medições, as quantidades apuradas não constituem motivo de discórdia entre as duas partes envolvidas no processo. E para que a medição de quantidades seja um processo fácil, o modelo prevê que sejam definidos filtros na modelação 3D. Os filtros permitem ao operador poder visualizar no dispositivo de RA apenas os elementos que pretende medir. Se este estiver a medir, por exemplo, os pilares de um determinado piso, seria de todo complicado conseguir distinguir esses elementos no ecrã sem ocultar os restantes. Percebe-se pois que a definição de filtros é um aspecto muito importante a ter em conta na modelação. Se isso não se verificasse, a facilidade da medição de quantidades através de RA ficaria seriamente comprometida.

Apesar de ser utilizado na fase de produção para medição de quantidades, o modelo BIM servirá para apoio às actividades de manutenção e reparação, na fase de exploração. E tendo em conta à finalidade a que o modelo se destina, na fase de modelação são tidos em conta outros aspectos que não apenas a medição de quantidades. Considerando o tipo de uso que a construção terá no futuro, são modelados diversos elementos que poderão ser alvo de intervenção. Foi dado o exemplo de uma porta que, para efeitos de medição, seria modelada como um elemento só mas que, devido à possível necessidade de substituição da fechadura, devia ser modelada em dois elementos separados, sendo eles a porta e a fechadura. Analisando este procedimento, percebe-se que a modelação será não apenas orientada por aspectos efectivamente objectivos (representar as linhas do MQT) como também por aspectos mais difíceis de identificar (elementos possíveis de serem reparados/substituídos). Este facto pode constituir uma dificuldade acrescida para a equipa de modelação, sendo necessário possuir informação relativa à fase de exploração a fim de modelar os elementos que no futuro serão úteis.

O modelo conceptual proposto prevê ainda que seja anexada aos objectos 3D toda a informação que possa ser útil na fase de exploração, como esquemas de montagem, manuais de utilização e informações técnicas. Este procedimento, apesar de extremamente útil, trará alguns constrangimentos à modelação. Para além de exigir da parte da equipa de modelação ter presente um conjunto vasto de informação relativa às operações de manutenção e reparação da edificação que estão a modelar, irá tornar o processo de modelação numa tarefa complexa, que vai muito para além da simples modelação 3D dos elementos. No entanto, quanto mais rico for o modelo maior será o potencial para a sua utilização na fase de exploração.

Os modelos BIM utilizados por este modelo conceptual são assim influenciados por dois aspectos fundamentais:

- 1- Os itens do MQT
- 2- A utilização do modelo na fase de exploração

Em ambos os casos é o modelo BIM que é adaptado à função que se pretende, e não o contrário.

5.3. Bases de Dados e Medição de Quantidades

As bases de dados “Previsto” e “Realizado” (BDP e BDR) foram definidas com base na estrutura do MQT. É através da comparação entre a BDP e a BDR que as alterações ao projecto vão ser detectadas. Cada elemento das bases de dados tem dois parâmetros associados: materiais e quantidade. A escolha destes dois parâmetros está relacionada com os tipos de alterações que foram identificados e que, de forma geral, estão relacionados com os materiais e com as dimensões dos objectos. O processo de medição de quantidades, para além da evidente função que tem, pretende ao mesmo tempo servir como receptor de *inputs* que permitam identificar as alterações ao projecto.

Como forma de facilitar a visualização do modelo BIM em obra, a RA foi a tecnologia escolhida para implementar no modelo conceptual. A escolha desta tecnologia assenta essencialmente no facto de permitir sobrepor imagens virtuais a um ambiente real. Neste caso, a imagem virtual será o modelo BIM e a imagem real será o local da construção para onde o dispositivo estiver direccionado. A definição de filtros durante a fase de modelação é de extrema utilidade na medição de quantidades uma vez que permite visualizar apenas a família de elementos que desejamos medir, ocultando tudo o resto. Se isso não fosse possível seria difícil para o operador conseguir identificar com facilidade no monitor o elemento que pretendia medir. Alguns elementos, como a estrutura de um edifício, a rede de águas e esgotos, ou a rede de gás e eletricidade, por se encontrarem contidos dentro de outros elementos, seriam impossíveis de medir caso não existissem filtros.

Será utilizado um dispositivo móvel do tipo *smartphone* ou *tablet*, em alternativa aos computadores portáteis. A escolha deste tipo de dispositivos é a mais adequada pois permite ao operador circular pelo local da construção sem grande dificuldade, ao mesmo tempo que o ecrã do tipo *touch* facilita a introdução de dados. São aparelhos leves, facilmente transportáveis, e dotados de câmara fotográfica, um elemento indispensável para poder operar com a RA. Entre os dois aparelhos que o modelo sugere para operar em obra, os *tablet* apresentam uma vantagem evidente face aos *smartphone*. Essa vantagem está relacionada com o tamanho do ecrã. Quanto maior for o ecrã do aparelho, maior será a facilidade com que o operador visualiza os elementos. Isso traduzir-se-á em maior rapidez na operação de medição. Por outro lado, com um ecrã de maiores dimensões, ter-se-á também maior facilidade na introdução dos *inputs* pedidos pelo modelo, uma vez que todos os botões apresentados serão maiores, incluindo os do teclado.

Os dispositivos do tipo *smartphone* ou *tablet* são seguramente os mais indicados para a finalidade que é pretendida. Porém, existe uma desvantagem associada à sua utilização em obra. Este tipo de dispositivos apresenta, regra geral, uma fraca resistência a choques, poeiras e líquidos. Todos estes elementos e situações são comuns nos locais de construção, e por isso a utilização destes dispositivos em obra obriga a um cuidado adicional na sua utilização. Numa operação que se pretende rápida e muito prática, essa preocupação adicional vai seguramente adicionar tempo às operações de medição de quantidades. Porém, existem já no mercado alguns aparelhos que possuem maior resistência aos elementos. A escolha deverá assim recair num desses aparelhos, mas a capacidade de processamento deverá ser sempre a condicionante principal a ter em conta. A tecnologia BIM, por trabalhar com modelos 3D e uma grande quantidade de informação associada aos elementos, necessita de aparelhos com boa capacidade de processamento, caso contrário, a visualização 3D torna-se pouco fluida e dificulta as operações com o modelo.

O processo de medição de quantidades é composto por 7 fases. Através dele são identificados os elementos que estão concluídos e, no caso de se encontrarem em execução, é indicada a quantidade que está concluída. Ao mesmo tempo, o sistema solicita ao operador a introdução de informação para poder depois determinar se ocorreu uma alteração ao projecto.

O processo inicia-se com a identificação do elemento. O operador direcciona o aparelho para o elemento que deseja medir e selecciona-o no visor. Após isso, o sistema mostra no visor a designação do elemento seleccionado, e o operador confirma se é de facto aquele elemento que deseja medir. Esta confirmação é de extrema importância para evitar erros de medição.

De seguida, o sistema efectua uma nova verificação, desta vez relacionada com os materiais utilizados na execução do elemento, pedindo ao operador que confirme se os materiais utilizados correspondem aos que foram definidos no projecto. Este passo não está relacionado com a medição de quantidades, mas é essencial para a detecção de alterações. Se o utilizador indicar que os materiais não correspondem aos que foram definidos em projecto, será solicitado para introduzir os novos materiais. À primeira vista este procedimento parece simples e eficaz, mas existe

uma situação na qual pode não ser possível identificar os materiais utilizados. Imagine-se uma parede que em projecto é definida como dupla, com caixa de ar e placas de isolamento térmico de uma determinada espessura. Se no momento da medição a parede estiver totalmente fechada, isto é, com os dois panos de tijolo completamente construídos, será impossível verificar se a espessura do isolamento térmico é a que foi definida em projecto.

De seguida o operador é questionado sobre a conclusão do elemento seleccionado. Caso o utilizador indique que o elemento não se encontra 100 % concluído, é solicitado a seleccionar a área do elemento que se encontra concluída. Este processo é bastante simples e intuitivo, uma vez que é o próprio utilizador que, através do toque, selecciona a parte do elemento que já está concluída. Isto acontece em elementos definidos em metros cúbicos, metros quadrados ou metros lineares. Porém, em elementos definidos por unidades, quando estes não se encontram concluídos a 100 %, o operador deverá abortar a medição uma vez que para efeitos de preenchimento do auto de medição, estes elementos ou estão concluídos ou então são considerados como não tendo sido começados.

Outro ponto importante a ter em conta é o de que, em alguns elementos, não é possível através deste método definir a quantidade do elemento que se encontra concluída. Tem-se como exemplo uma parede cuja estrutura de tijolo está concluída, mas o reboco ainda não foi executado. Neste caso, se o operador seleccionar a totalidade da área da parede, dará a informação ao sistema que a parede está toda ela concluída. Não pode, assim, indicar ao sistema que o reboco não está concluído. A solução passará obrigatoriamente por seleccionar uma área menor de parede, para tentar compensar a falta do reboco. Este procedimento dependerá da sensibilidade do operador, o que não é de todo desejável para atingir o objectivo de simplificar a medição de quantidades, reduzir os erros e minimizar os conflitos entre os intervenientes. No entanto, o número de elementos onde isto pode acontecer é consideravelmente menor relativamente aos restantes, e por isso o efeito que isso terá no resultado final é pequeno. No futuro, esta limitação pode ser solucionada adicionando informação aos elementos relacionada com o seu processo construtivo. Quando a situação acima referida ocorresse, o técnico indicaria em que etapa de execução aquele elemento se encontrava e o sistema calcularia automaticamente qual a quantidade que correspondia ao actual estado de conclusão do elemento.

Por fim, através da informação introduzida pelo utilizador, o sistema alimenta a BDR. Embora considerando algumas condicionantes que foram referidas, o processo de medição de quantidades através de BIM e RA é simples e preciso, e evita que existam grandes discrepâncias entre as medições efectuadas pelo empreiteiro e pela fiscalização. Quanto menor for a dependência à sensibilidade do operador, menor será a probabilidade de ocorrerem erros. Face ao sistema comum de medição, o processo proposto pelo modelo consegue minimizar a dependência da sensibilidade do operador.

5.4. Autos de Medição

O modelo conceptual apresentado pelo presente estudo determina que as quantidades que alimentam os autos de medição sejam retiradas directamente do modelo BIM. Para isso, é necessária uma relação entre as linhas do MQT, os objectos 3D do modelo, e os elementos da BDR. A cada linha do MQT corresponde um ou vários objectos 3D do modelo. A cada objecto 3D do modelo está associado um elemento da BDR e, desta forma, é possível relacionar os elementos da BDR com as linhas do MQT. O valor do parâmetro “quantidade” dos elementos da BDR será utilizado para preencher as linhas do MQT.

Tal como referido no subcapítulo 4.5, o processo é bastante simples quando uma linha do MQT é representada por apenas um objecto 3D. O valor do parâmetro “quantidade” dos elementos da BDR são utilizados para alimentar as linhas do MQT correspondentes. Porém, quando uma linha do MQT é representada por mais do que um objecto, a correspondência entre esta e os elementos correspondentes da BDR não é directa. Temos desta forma vários valores do parâmetro quantidade para alimentar apenas uma linha do MQT. Terá assim de ser assumido pelo operador um valor razoável capaz de representar o estado de conclusão do elemento.

Tal como já tinha sido dito, um dos objectivos do modelo conceptual, para além da actualização dos modelos BIM durante a fase de produção, é a redução dos conflitos entre o empreiteiro e a fiscalização, resultantes da divergência nas quantidades apuradas em obra. Para que isso aconteça, é necessário que sejam reduzidas as operações dependentes da sensibilidade do operador. O caso apresentado em cima, em que o operador terá de assumir um valor que descreva o estado de conclusão de um determinado elemento, não é de todo desejado. É por isso que é recomendado um esforço adicional para, durante a fase de modelação, conseguir representar cada linha do MQT com apenas um objecto 3D.

A execução dos autos de medição é feita de forma semi-automática. No final de todos os elementos medidos, o sistema dará como resultado uma tabela em formato *Excel*, com cada elemento da BDR sucedido pelo valor do parâmetro quantidade. Este valor, que resultou das medições efectuadas, será introduzido no MQT. Este procedimento será feito manualmente por um operador, tendo em conta a relação entre os elementos da BDR e as linhas do MQT.

Um dos objectivos do presente estudo, de ter autos de medição feitos de forma mais rápida, precisa, e com menos erros, é assegurado pelo modelo. Em parte, a precisão e a redução de erros resulta do processo de medição feito directamente sobre o modelo BIM. Os elementos medidos são claramente identificados, e as quantidades apuradas sobre o modelo dispensam as medições manuais feitas por um operador. A rapidez das medições, assegurada pela possibilidade de visualizar o modelo 3D sobre o ambiente real, só possível graças à RA, traduz-se em menos tempo gasto em obra, logo, menos tempo a produzir os autos de medição. Porém, o facto de o auto ser preenchido manualmente por um operador vem acrescentar algum tempo e possibilidade

de gerar erros no processo. Se cada linha do MQT fosse representada apenas por um elemento, as linhas do MQT poderiam ser automaticamente preenchidas com o valor do parâmetro “quantidade” da BDR. Mas o facto de termos algumas tarefas/elementos onde isso não é possível, não permite a dispensa do operador para preencher os autos de medição.

Aqui, mais uma vez, o desafio para a fase de modelação é conseguir representar cada linha do MQT através de um único elemento. Sabe-se, porém, que a necessidade de modelar certos elementos é fundamental para obter bons resultados na utilização do modelo em operações durante a fase de exploração.

5.5. Identificação de Alterações

O objectivo principal do modelo conceptual é garantir a actualização dos modelos BIM durante a fase de produção. Para isso, a plataforma utiliza um procedimento indispensável em qualquer obra, a medição da produção para execução de autos de medição, e combina-a com a tecnologia BIM, servindo-se da RA para transportar o modelo BIM para o local de construção. Durante as medições, são solicitados ao operador alguns *inputs* que permitirão fazer a detecção de alterações ao projecto, sem acrescentar grande esforço e perda de tempo por parte do operador.

O modelo prevê a existência de 5 tipos diferentes de alterações:

Tipo 1 - Um elemento apresenta diferentes dimensões

Tipo 2 - Introdução de um novo elemento

Tipo 3 - Um elemento apresenta diferentes materiais

Tipo 4 - Um elemento apresenta diferentes dimensões e diferentes materiais

Tipo 5 - Supressão de um elemento

Os diferentes tipos de alterações identificados são suficientes para cobrir a maioria das alterações aos projectos de construção.

Na base do processo de identificação de alterações está a comparação entre as duas bases de dados: BDP e BDR. Através da comparação entre o valor dos parâmetros “quantidade” e “materiais”, é possível identificar diferenças entre as duas bases de dados, e assim concluir-se que houve ou não uma alteração ao projecto. Para além dos valores dos parâmetros, existem dois *inputs* fundamentais para a identificação das alterações: conclusão do elemento e confirmação dos materiais utilizados.

Para identificar as alterações do tipo 1 (elemento com diferentes dimensões), o sistema compara o parâmetro quantidade da BDP com a BDR. O modelo estabelece ainda que as alterações de tipo 1 podem-se subdividir em dois tipos: aumento da dimensão e redução da dimensão. Em ambos os casos é necessário saber se o elemento está ou não concluído a 100% para poder concluir-se que houve uma alteração e poder-se quantificá-la.

No caso de um aumento das dimensões, é necessário saber se o elemento está concluído para poder quantificar com rigor a alteração que ocorreu. É por isso que, caso o elemento não

esteja concluído, o sistema não pede ao utilizador para descrever a alteração. Seria uma perda de tempo e um esforço inútil estar a registar uma alteração quando o elemento ainda não está concluído.

No caso de ocorrer uma redução nas dimensões de um elemento, será também fundamental saber se o elemento está ou não concluído. Se essa indicação não fosse dada ao sistema, não se saberia se a redução da dimensão se devia a uma alteração efectiva ou se, pelo contrário, a diferença entre os valores do parâmetro “quantidade” era devida ao simples facto de o elemento não estar acabado, não configurando deste modo uma alteração.

Quando o sistema conclui que houve uma alteração, pede ao utilizador para descrever a alteração que foi levada a cabo. Este procedimento está dependente do operador, que deve introduzir os elementos necessários para definir com rigor a alteração, e por isso podem acontecer falhas. No entanto, é esperado que a probabilidade de isso acontecer seja reduzida uma vez que as medições são efectuadas sobre o modelo, e por isso as quantidades que daí resultam são bastante precisas. O documento “Lista de Alterações” é então actualizado com a informação introduzida pelo operador. Este documento é enviado para a equipa de projecto cada vez que um auto de medição é executado, e vai permitir actualizar o modelo com as alterações identificadas.

As alterações de tipo 2 estão relacionadas com a introdução de novos elementos. Neste tipo de alterações o papel da RA será fundamental, uma vez que a sobreposição do modelo BIM com o ambiente real permitirá ao operador identificar claramente os elementos que não estavam no projecto. Pode mesmo afirmar-se que o papel da RA em todo o modelo conceptual é determinante para o sucesso do mesmo em desempenhar as funções para a qual foi concebido. Sem a visualização do modelo BIM sobreposto à realidade a maioria dos processos levados a cabo pelo modelo não seriam possíveis. A detecção de alterações do tipo 2 é disso um bom exemplo. O procedimento proposto pelo modelo é bastante válido e permite ao operador identificar sem dúvidas quando um novo elemento é introduzido. No entanto, em algumas situações pode não ser possível detectar este tipo de alterações. Os autos de medição são efectuados com a periodicidade definida no caderno de encargos. Se um novo elemento for introduzido no intervalo entre duas medições, e estiver localizado, por exemplo, no interior de um tecto falso que entretanto foi concluído, o operador, na medição seguinte, não consegue visualizar o novo elemento. Excluindo essas situações que, embora possíveis, são pouco frequentes, o processo permite identificar novos elementos introduzidos que não estavam definidos no projecto.

As alterações de tipo 3 contemplam as alterações ao nível dos materiais. Caso um elemento tenha sido construído com recurso a materiais diferentes, o modelo prevê que sejam registados os novos materiais no documento “Lista de Alterações”. O processo inicia-se na medição do elemento, quando o sistema pede ao utilizador para confirmar se os materiais definidos em projecto são efectivamente os que foram utilizados. Se a resposta for sim não houve alteração, e o valor do parâmetro “materiais” da BDP desse elemento é copiado para a BDR. Se a resposta for negativa o

operador é então solicitado a introduzir os novos materiais, sendo essa informação enviada para a “Lista de Alterações”. Apesar de neste processo o papel do operador ser determinante, porque é ele que através da sua observação verifica a discrepância entre os materiais utilizados, a margem para erros é diminuta. Isso deve-se ao facto de o sistema expor de forma clara ao operador a informação, levando a que este possa comparar sem margem para dúvidas o que vê com o que foi projectado. Neste tipo de alterações, porém, pode acontecer a situação descrita no subcapítulo 5.3. Um determinado elemento que está parcialmente concluído, ocultando o seu interior, pode inviabilizar a visualização dos materiais utilizados. Nesse caso o operador pode não conseguir confirmar se os materiais definidos em projecto correspondem efectivamente aos que foram utilizados. Uma vez mais esta situação está dependente da periodicidade com que são feitos os autos de medição. Quanto mais curtos forem os intervalos entre as medições menor será a probabilidade desta situação acontecer.

Para as alterações do tipo 4, o modelo propõe que a detecção de alterações seja feita através dos procedimentos adoptados para as alterações do tipo 1, em conjunto com as do tipo 3, sendo que essa análise já foi feita neste subcapítulo.

Por fim, a detecção de alterações do tipo 5, correspondente à supressão de um elemento, só é possível, uma vez mais, graças à RA. O procedimento é semelhante à detecção de alterações do tipo 2. A sobreposição entre o modelo BIM e a realidade permite ao utilizador identificar que não existe correspondência entre um elemento do modelo e um elemento real. O utilizador é então solicitado a introduzir essa informação na “Lista de Alterações”, para que posteriormente o elemento seja removido do modelo. É necessário, no entanto, ter alguma precaução quando este processo é executado. No momento em que o operador pretende medir um determinado elemento, e não identifica a sobreposição entre o elemento BIM e o elemento real, deverá possuir informação sobre se o elemento foi realmente suprimido ou se, pelo contrário, foi atrasada a sua construção por uma qualquer condicionante.

5.6. Actualização do modelo BIM e Modelo BIM *As-Built* Final

A actualização dos modelos BIM durante a fase de produção é o principal objectivo do modelo proposto. Para isso é proposto um método que, aproveitando a necessidade de efectuar medições para alimentar os autos de medição, identifica e regista as alterações ao projecto.

Em cada medição que é efectuada, a “Lista de Alterações” é actualizada. A lista é então enviada para a equipa de projecto, que procederá à actualização do modelo tendo em conta as alterações identificadas. O processo de actualização é por isso manual, uma vez que é levado a cabo por um operador, pertencente à equipa de projecto. Um método 100 % automático seria com certeza uma mais valia, por forma a reduzir a intervenção humana, passiva de gerar erros e consumir recursos, no entanto, neste caso, seria uma tarefa bastante complexa e encontra-se fora do âmbito deste estudo.

Cada vez que um novo auto de medição é efectuado, o modelo é actualizado pela equipa de projecto. Quando o operador efectua a próxima ronda de medições utiliza o modelo actualizado, e por isso as alterações que foram detectadas anteriormente deixarão de existir. No final da obra, o modelo resultante sofreu várias alterações, e consegue representar fielmente o que está construído, e pode então ser designado por Modelo BIM *As-Built* Final.

As operações de manutenção e reparação levadas a cabo na fase de exploração, utilizando o Modelo BIM *As-Built* Final, serão então beneficiadas pela precisão e fiabilidade do modelo. Neste tipo de tarefas o tempo gasto é um factor decisivo, e tem impacto directo na utilização das construções. Um modelo que não seja capaz de representar com rigor o que está construído implicará com toda a certeza mais tempo despendido em operações na fase de exploração.

6. CONCLUSÕES

O presente estudo está integrado numa linha de investigação iniciado há vários anos no Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, conduzidas sob a orientação do Professor Doutor Nuno Cachadinha. Essa linha de investigação tem por base o uso da tecnologia BIM no sector da construção, e a forma como ela pode contribuir para melhorar o vasto conjunto de actividades que envolvem um projecto de construção. No decorrer dos estudos levados a cabo pelos mestrandos, estudou-se não apenas o BIM isoladamente mas também as possíveis relações com outras tecnologias e filosofias como a *Lean Construction* e a Realidade Aumentada.

O estudo aqui levado a cabo dá seguimento ao trabalho de Grazina e Cachadinha (2013), na medida em que aborda os possíveis pontos de contacto entre BIM e RA, tendo no entanto uma missão completamente distinta. Em vez do planeamento e sua actualização, o modelo aqui desenvolvido tem por objectivo principal garantir a actualização dos modelos BIM durante a fase de produção, ao mesmo tempo que propõe a realização dos autos de medição sobre esses modelos. Outro dos objectivos do estudo era obter ganhos ao nível da rapidez, precisão e fiabilidade dos autos de medição, reduzindo os conflitos resultantes da medição de quantidades. A RA possibilita não só a visualização do modelo BIM em obra como é também uma peça fundamental no processo de detecção de alterações e medição de quantidades.

6.1. Motivação e Problemática

Todo o estudo académico tem por base uma necessidade identificada, e deve dar resposta a essas mesmas necessidades, tentando supri-las. Através de uma pesquisa bibliográfica, identificaram-se problemas com os quais o sector da construção se debate actualmente, relativamente aos quais se acredita que o BIM em conjunto com a RA pode dar resposta. São eles a não actualização dos modelos BIM durante a fase de produção, e as divergências no apuramento de quantidades em obra.

A utilização dos modelos BIM na fase de exploração das construções é apontada como uma das áreas onde o BIM apresenta maior potencial. O seu poder de visualização aliado ao facto de funcionar como uma base de dados única com toda a informação relativa aos elementos construídos faz com que os modelos BIM sejam fortes aliados nas operações de manutenção e reparação. Para que os modelos BIM possam ser utilizados com total segurança durante a fase de exploração, deverão conseguir representar fielmente a construção e todos os seus detalhes, contendo também todas as alterações introduzidas ao projecto. Deverão pois funcionar como verdadeiros modelos as-built. Por outro lado, sabe-se que a execução de autos de medição é um processo que gera conflitos entre os intervenientes, principalmente por causa de divergências nas quantidades

medidas. As medições são feitas manualmente por um operador, o que gera erros e imprecisões. Por outro lado, sempre que não existe uma regra oficial para medições cada interveniente tende a utilizar as suas próprias regras, originando por isso divergências nas quantidades medidas.

A pesquisa bibliográfica levada a cabo procurou também identificar até onde é que as soluções actuais ao nível de BIM e RA conseguem satisfazer as necessidades identificadas, percebendo-se claramente quais as limitações existentes e que lacunas iria este estudo preencher. Concretamente, verificou-se que o BIM permite medir quantidades, e que a ligação entre BIM e RA não só é possível como permite reforçar as capacidades do BIM, concretamente a visualização do modelo BIM sobre um ambiente real. Grazina e Cachadinha (2013) propuseram uma plataforma que define as bases para um método automático de actualização do planeamento com recurso a tecnologia BIM combinada com RA. Nesse estudo ficou provado que, entre outras coisas, é possível medir quantidades de forma prática, rápida e precisa, combinando BIM e RA. Foram ainda resolvidos alguns problemas práticos relacionados com a medição utilizando RA, os quais, como seria de esperar, não foram aqui abordados.

Tendo em conta os problemas identificados na Motivação e as soluções que já foram estudadas, pode concluir-se que foi encontrado com sucesso o espaço para o desenvolvimento para este estudo, que foi orientado pela seguinte questão de investigação:

Pode a produção de autos de medição com recurso a BIM e RA funcionar como garantia de actualização dos modelos BIM no decurso da fase de construção, reduzindo ao mesmo tempo os conflitos resultantes da medição de quantidades?

6.2. Interesse dos Intervenientes na Utilização do Modelo

O modelo estabelece que tanto a empresa de construção como a fiscalização utilizam o método de medição de quantidades proposto, servindo-se do mesmo modelo BIM. Só assim pode ter-se a certeza que as quantidades medidas não divergem. Era necessário, porém, que o modelo apresentasse vantagens para as duas partes envolvidas. Tal como referido no capítulo 1, o sector da construção, comparativamente a outros, é um dos que apresenta taxas de produtividade mais baixas, e alguns procedimentos pouco ou nada evoluíram, continuando a fazer-se da mesma forma. A resistência à mudança contribui assim para que, qualquer novo procedimento, para ser aceite, tenha de apresentar vantagens evidentes para todas as partes envolvidas no processo construtivo. Apesar de este estudo consistir na definição de um modelo conceptual e, portanto, sem validação prática, os desenvolvimentos lógicos que estão na base da sua estruturação permitem concluir que será do interesse tanto do dono de obra (representado pela fiscalização) como do empreiteiro manter o modelo BIM actualizado, seguindo os procedimentos propostos pelo modelo conceptual. Em primeiro lugar, todos os pagamentos efectuados pelo dono de obra terão por base as quantidades extraídas do modelo. Por outro lado, o empreiteiro só receberá pelos trabalhos a mais caso

isso esteja representado no modelo. O modelo BIM passará assim a ser uma peça fundamental em todo o processo que envolve pagamentos relacionados com os trabalhos efectuados.

Mas o interesse das partes não se resume à questão dos pagamentos. O processo de medição de quantidades de forma directa a partir do modelo BIM, com o apoio fundamental da RA, apresenta potencial que evidencia ser possível obter informação de forma mais rápida, precisa e fiável. No entanto, só o desenvolvimento de aplicações BIM + RA, capazes de medir quantidades através da selecção de áreas de elementos, pode permitir a validação prática destas conclusões, nomeadamente através de um caso de estudo. Posto isto, e sabendo que as divergências no apuramento de quantidades é um dos problemas frequentemente referidos pela literatura, conclui-se que o modelo proposto preconiza mecanismos que contribuem para a sua eliminação.

6.3. Ligação do modelo BIM ao MQT

O modelo conceptual define que o modelo BIM elaborado deverá possuir ligação com o MQT, sendo utilizado o mesmo modelo pela fiscalização e empreiteiro. A ligação referida foi alvo de análise neste estudo, concluindo-se que as quantidades medidas através do modelo podem ser utilizadas directamente nos autos de medição apenas e só quando cada linha do MQT é representada por um elemento 3D. Essa deverá ser, aliás, uma preocupação durante o processo de modelação. No entanto, devido ao tipo de tarefas/elementos que alguns mapas de quantidades possuem, isso pode não ser possível. A necessidade de introduzir maior detalhe no modelo, com vista à sua utilização na fase de exploração, também contribui para que, por vezes, uma linha de MQT seja definida por mais do que um elemento 3D. Existem ainda algumas tarefas difíceis de representar por um elemento 3D, como a desmatação de um terreno, ou a limpeza de uma determinada área.

Por tudo isto, pode concluir-se que a ligação do modelo BIM ao MQT é uma tarefa complexa, dependente do tipo de elementos presentes no MQT, das tarefas a realizar, e do detalhe necessário com vista à utilização do modelo BIM na fase de exploração.

6.4. Medição de Quantidades e Detecção de Alterações

A medição de quantidades e detecção de alterações são duas funções do modelo conceptual, estando ligadas entre si. Utilizou-se o primeiro para chegar ao segundo, sendo o operador solicitado a introduzir dois *inputs* adicionais, fundamentais para a detecção de alterações: elemento concluído ou não concluído e indicação dos materiais utilizados. Feita a medição e introduzidos os *inputs* necessários, o modelo consegue identificar as alterações ao projecto, se elas existirem.

Foram identificados 5 tipos de alterações aos projectos de construção, cada um com as suas especificidades, e em seguida o processo de detecção foi desenvolvido em torno dessa tipologia. Pode concluir-se que o processo permite identificar as alterações identificadas, excepto em alguns casos identificados no capítulo 5, como é exemplo a alteração aos materiais de um elemen-

to composto por camadas, quando a medição é feita no momento em que o elemento já está parcial ou totalmente concluído.

O processo de detecção de alterações é baseado na comparação entre o que estava previsto e o que foi realizado. Para isso foram criadas duas bases de dados (Base de Dados Previsto e Base de Dados Realizado), cada uma delas definida por elementos, que por sua vez têm associados dois parâmetros: quantidade e materiais. Comparando os elementos correspondentes das duas bases de dados, é possível identificar diferenças nos valores dos parâmetros, que correspondem a alterações ao projecto original. Analisando os resultados obtidos, conclui-se que o processo de detecção de alterações permite detectar todos os 5 tipos de alterações identificados, embora em alguns casos existam limitações que podem comprometer essa identificação.

6.5. Actualização do Modelo BIM e Modelo BIM *As-Built* Final

O resultado final do modelo conceptual é um modelo BIM *as-built*, ou seja, um modelo actualizado com todas as alterações ao projecto, e que seja capaz de representar com rigor o que foi construído. A revisão da literatura mostrou que a utilização destes modelos na fase de exploração contribui para operações de reparação e manutenção mais rápidas, eficazes e seguras.

O modelo prevê que, a cada medição efectuada, as alterações detectadas sejam registadas no documento “Lista de Alterações”. É esse documento que, terminada cada ronda de medições, será enviado à equipa de projecto para que o modelo seja actualizado. Apesar de este processo incluir o registo de algumas alterações por parte de um operador, bem como a actualização do modelo ser feita de forma manual, também por um operador, pode concluir-se que o objectivo de conseguir um modelo BIM *as-built* é conseguido. Apesar do processo de modelar as alterações consumir tempo e recursos, ficou provado em cima que é do interesse das partes envolvidas que isso aconteça. Os custos deste procedimento, conclui-se, serão um mal necessário a um bem maior.

6.6. Cumprimento dos Objectivos

O objectivo definido para este estudo é propor um modelo conceptual que contribua para a definição de um método de detecção de alterações aos projectos de construção, através da produção de autos de medição com recurso a RA e BIM, garantindo assim que os modelos BIM são actualizados no decorrer da fase de construção, ao mesmo tempo que são reduzidos os conflitos entre os intervenientes no processo construtivo relacionados com a medição de quantidades.

Foram ainda definidos 4 objectivos parcelares com vista à obtenção do objectivo principal:

- 1- Medir as quantidades em obra com recurso a BIM e RA
- 2- Comparar os elementos reais (construídos) com os elementos presentes no modelo BIM, através de RA

- 3- Identificar e registar as alterações ao projecto, tendo por base a comparação feita no ponto anterior
- 4- Actualizar os modelos BIM com as alterações identificadas

Alguns dos objectivos parcelares não foram plenamente atingidos, nomeadamente o nº 1, pelo facto de não haver ainda *software* disponível, tal como foi referido no subcapítulo 6.2. Deste modo, algumas das hipóteses de estudo não podem ser validadas, tendo no entanto sido confirmado o potencial que as aplicações BIM + RA têm para efectivar essa validação. Refere-se, concretamente, as hipóteses de estudo 1 e 2, porque ambas estão dependentes da medição de quantidades através de uma aplicação BIM + RA:

- 1- A produção de autos de medição com quantidades obtidas através de BIM e RA é um processo rápido, fiável, e preciso;
- 2- A medição de quantidades com recurso a RA e BIM permite identificar alterações ao projecto e registá-las.

Relativamente às outras hipóteses de estudo, pode concluir-se que foram verificadas:

- 3- Os modelos BIM podem ser actualizados, ou seja, transformados em *as-built*, a partir da lista de alterações ao projecto realizadas também em fase de produção;
- 4- A produção de autos de medição com quantidades extraídas exclusivamente do modelo BIM obriga a que seja do interesse tanto do dono de obra, como do empreiteiro, manter o modelo actualizado.

Desta forma, em resposta à questão central de investigação, conclui-se que a produção de autos de medição com recurso a BIM e RA apresenta vantagens que contribuem para garantir a actualização dos modelos BIM no decurso da fase de construção, tendo sido ao mesmo tempo identificado potencial para reduzir os conflitos resultantes da medição de quantidades. Reforça-se uma vez mais a ideia que, para que isso aconteça, será necessário desenvolver aplicações que combinem BIM e RA, e que permitam medir quantidades através da selecção de áreas de elementos.

6.7. Futuros Campos de Pesquisa

Ainda que o presente estudo esteja assente numa base conceptual, consegue estabelecer as bases necessárias para um processo de actualização dos modelos BIM no decorrer da fase de produção, ao mesmo tempo que são reduzidas as divergências na medição de quantidades. No entanto, será necessário que no futuro sejam desenvolvidas ferramentas informáticas novas, ou adaptação das existentes, com vista ao preenchimento dos requisitos do modelo conceptual.

Concretamente, será necessário fazer chegar a RA às soluções BIM já disponíveis no mercado, por forma a que o modelo 3D possa ser visto sobre um ambiente real. Será também necessário que essas ferramentas permitam determinar com exatidão, através da selecção de uma determinada área de um elemento, a quantidade associada. Existindo o *software*, será fundamental

testar o modelo através de um caso prático, validando assim os conceitos que estiveram sua concepção.

Quando se trata de actualizar o modelo BIM, o desafio será conseguir que isso seja feito de forma automática, reduzindo o tempo e custos associados a esse procedimento. Este estudo demonstrou que em alguns tipos de alterações isso pode ser facilmente conseguido, concretamente nos casos onde foi suprimido um elemento, ou ocorreu uma alteração nos materiais utilizados. Mas quando se trata de alterações às dimensões dos objectos, é um desafio para a investigação conseguir que o modelo seja automaticamente actualizado.

Por fim, para melhorar ainda mais a capacidade do modelo em reduzir os conflitos resultantes da medição de quantidades, é necessário que o *software* BIM esteja adaptado às normas de medição em vigor, quando existem. Em Portugal, o documento “Regras de Medição em Construção” criado pelo LNEC (Fonseca, 2008), apesar de não constituir uma norma oficial, configura-se como uma excelente opção para orientar a medição de quantidades em qualquer obra. Será assim fundamental que o *software* BIM possa ser actualizado com esse conjunto de regras, garantindo que as quantidades são sempre medidas da mesma forma.

Por outro lado, a principal funcionalidade do modelo conceptual aqui proposto é garantir que os modelos BIM são actualizados no decorrer da fase de produção, permitindo que estes sejam utilizados com toda a segurança na fase de exploração. Esta capacidade abre de imediato várias portas para investigação. Em primeiro lugar, seria importante utilizar o BIM em tarefas de manutenção e reparação com os novos modelos *as-built* resultantes do modelo conceptual, identificando vantagens na utilização destes modelos, comparando-os com os modelos não actualizados. Será também importante perceber a importância destes modelos do ponto de vista de todos os intervenientes, incluindo os proprietários dos edifícios. O facto de o utilizador final ter acesso a um vasto conjunto de informação técnica do edifício, actualizada durante a fase de produção, pode vir a revolucionar a forma de gerir instalações.

Por fim, e uma vez que a RA permite visualizar os modelos BIM sobre o ambiente real, será importante alargar o campo de aplicação das soluções BIM+AR à fase de exploração das construções. A revisão bibliográfica levada a cabo neste estudo demonstrou que o BIM pode ser um grande aliado em tarefas de manutenção e reparação (Clemente e Cachadinha 2012). As soluções BIM + AR estão ainda em fase de desenvolvimento, no entanto, será bastante útil no futuro reavaliar as capacidades do BIM como ferramenta de auxílio às tarefas de manutenção e reparação, desta vez com o precioso complemento da RA.

7. BIBLIOGRAFIA

AEROMETREX, 2014. <http://aerometrex.com.au/blog/?p=646> (07/01/2014).

ALI, N.; SUN, M., AOUAD, G.; MAZLAN, R.M. e MUSTAPA, F.D. - *Understanding the business process of reactive maintenance projects*. International Conference on Construction Industry, Indonesia, 2006.

AOUAD, G.; BETTS, M.; BRANDON, P. F.; BROWN; CHILD, T.; COOPER, G.; FORD, S.; KIRKHAM, J.; OXMAN, R.; SARSHAR, M. e YOUNG, B. – *ICON Integration of Construction Information - Integrated Databases for the Design, Procurement and Management of Construction*. Universidade de Salford, 1994.

ARVANITIS, T. N.; PETROU, A.; KNIGHT, J. F.; SAVAS, S.; SOTIRIOU, S., e GARGALAKOS, M. - *Human factors and qualitative pedagogical evaluation of a mobile augmented reality system for science education used by learners with physical disabilities*. Personal and Ubiquitous Computing, 2007.

AUTODESK, 2013. <http://bimcurriculum.autodesk.com/exercise/exercise-733-creating-detailed-quantity-takeoff> (20/12/2013).

AUTODESK, 2014. <http://www.autodesk.pt> (29/01/2014).

AXIACON, 2014. <http://www.axiacon.com/construction-management-services> (05/01/2014).

AZUMA, R.T. - *A survey of augmented reality*. Teleoperators and Virtual Environments 6, págs 355–385, 1997.

BARRETT, P. e BALDRY, D. - *Facilities Management: Towards Best Practice*. Blackwell Science, Oxford, 2003.

BDCNETWORK, 2014. <http://www.bdcnetwork.com/augmented-reality-goes-mainstream-12-applications-design-and-construction-firms> (13/01/2014).

BENTLEY, 2014. <http://www.bentley.com/enUS/Subscriptions/Passports+and+Visas/schedule+simulation.htm> (03/02/2014).

BLUENTCAD, 2014. <http://www.bluentcad.com/services/integrated-project-delivery.html> (05/01/2014).

BOSH, 2014. <http://www.bosch-professional.com/pt/pt/glm-150-23315-ocs-p/> (08/02/2014).

CHI, H.L.; CHEN, Y.C.; KANG, S.C. e HSIEH, S.H. - *Development of user interface for tele-operated cranes*. Advanced Engineering Informatics, vol. 26, págs 641–652, 2012.

CHI, H.-L.; KANG, S.-C. e WANG, X. - *Research trends and opportunities of augmented reality applications in architecture, engineering, and construction*. Automation in Construction, vol. 33, págs 116-122. 2013.

CLEMENTE, J. e CACHADINHA, N. – *Building information modeling como ferramenta de visualização de realidade ampliada em obras de reabilitação – um caso de estudo*” Congresso Nacional de Construção, Coimbra, 2012.

DAVIDSON, I. N. e SKIBNIEWSKI, M. J. – *Simulation of automated data collection in buildings*. Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE, págs 9–20, 1995.

DEUTSHES INSTITUT FÜR NORMUNG. <http://www.nabau.din.de/>. (24/11/2013).

DUNSTON, S. e WANG, X. - *Mixed reality-based visualization interfaces for architecture, engineering, and construction industry*. Journal of Construction Engineering and Management, nº 131, págs. 1301–1309, 2005.

EL-OMARI, S. e MOSELHI, O. - *Integrating 3D laser scanning and photogrammetry for progress measurement of construction work*. Automation in Construction, vol. 18, págs. 1-9. 2008.

EL-OMARI, S. e MOSELHI, O. - *Integrating automated data acquisition technologies for progress reporting of construction projects*. Automation in Construction, vol. 20, págs. 699-705. 2011.

FARAH, T. - *Review of current estimating capabilities of the 3D Building Information Model software to support design for production/construction*. Dissertação para obtenção do grau de mestre, Worcester Polytechnic. (<http://www.wpi.edu/Pubs/ETD/Available/etd-082305-165125/unrestricted/Thesis-of-Toni-Farah-Reviewof-BIM-Design-for-Construction.pdf>). 2005.

FONSECA, M. S. - Regras de Medição na Construção. Lisboa : LNEC, 2008.

GARTNER, 2012. <http://www.gartner.com/technology/home.jsp> (5/12/2014)

GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY, Graphics, Visualization & Usability Center, 2014. <http://gvu.gatech.edu/glass> (02/02/2014).

GOEDERT, J. D. e MEADATI, P. - *Integrating Construction Process Documentation into Building Information Modeling*. Journal of Construction Engineering and Management, vol. 134, nº. 7, pág. 509-516. 2008.

GOLPARVAR-FARD, M.; PEÑA-MORA, F. e SAVARESE, S. - *D4AR – A 4-Dimensional Augmented Reality Model For Automating Construction Progress Monitoring Data Collection, Processing And Communication*. ITcon, vol. 14, págs. 129-153. 2009.

GOOGLE, 2014. <http://www.google.com/glass/start/> (18/01/2014).

GRAPHISOFT, 2014. http://www.graphisoft.com/images/open_bim/about_bim/image-VirtualBuilding.png (10/01/2014).

GRAZINA, J. e CACHADINHA, N. - *Towards a systematic production progress assessment based on AR and BIM – prerequisites and functional requirements*. 13th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality (CONVR), Londres, Reino Unido, 2013.

GRILO, A. e JARDIM-GONCALVES, R. - *Value proposition on interoperability of BIM and collaborative working environments*. Automation in Construction, vol. 19, nº 5, págs. 522-530. 2010.

HAMMAD, A.; GARRETT, J. e KARIMI, H. - *Potencial of mobile augmented reality for infrastructure field tasks*. In : Proc. 7th International Conference on Applications of Advanced Technology in Transportation Engineering, 2002.

HAKKARAINEN, M.; WOODWARD, C. e RAINIO, K. - *Software Architecture for Mobile Mixed Reality and 4D BIM Interaction*. VTT Technical Research Center of Finland, 2010.

HARTMANN, T. e FISCHER, M. - *Supporting the constructability review with 3D/4D models*. Building Research and Information, vol. 35, nº 1, págs. 70-80, 2007.

HEGAZY, T e ABDEL-MONEM, M. - *Email-based system for documenting construction as-built details*, Automation in Construction, Vol. 24, Págs 130-137, 2012.

HU, Z.; ZHANG, J. e DENG, Z. - *Construction Process Simulation and Safety Analysis Based on Building Information Model and 4D Technology*. Tsinghua Science & Technology, vol. 13, nº Supplement 1, págs. 266-272. 2008.

INTERNATIONAL CODING TECHNOLOGIES INC., 2014. <http://www.ictrfid.com/> (25/02/2014).

INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS - *Civil Engineering Standard Method of Measurement 3rd edition*. Londres : Thomas Telford Ltd, 1991.

IRIZARRY, J.; GHEISARI, M.; WILLIAMS, G e WALKER B. - *InfoSPOT: A mobile Augmented Reality method for accessing building information through a situation awareness approach*. Automation in Construction, vol. 33, págs. 11-23. 2013.

JIAO, Y; ZHANG, S.; LI, Y.; WANG, Y. e YANG, BaoMing - *Towards cloud Augmented Reality for construction application by BIM and SNS integration*. Automation in Construction, vol. 33, págs. 37-47. 2013.

IKEA, 2014. http://www.ikea.com/pt/pt/about_ikea/newsitem/Catalogo_IKEA_2014 (23/01/2014).

KAMAT, V.R.; GOLPARVAR-FARD, M.; MARTINEZ, J.C.; PEÑA-MORA F.; FISCHER, M. e SAVARESE, S. - *CEC: Research in Visualization Techniques for Field Construction*. Construction Engineering Conference, Blacksburg, VA, 2010.

KERAWALLA, L.; LUCKIN, R.; SELJEFLLOT, S. e WOOLARD, A - *“Making it real”: exploring the potential of augmented reality for teaching primary school science*. Virtual Reality, nº10, vol. 3, págs. 163–174, 2006.

KIM, C.; SON, H. e KIM, C. - *Automated construction progress measurement using a 4D building information model and 3D data*. Automation in Construction, vol. 31, págs. 75-82. 2013.

KLOPFER, E. e SQUIRE, K. - *Environmental detectives: the development of an augmented reality platform for environmental simulations*. Educational Technology Research and Development, nº 56, vol. 2, pág. 203, 2008.

LIU, L.Y. - *Hand-held Multimedia Documentation for Tunnel Inspection*. Proceedings of the Eighth Congress on Computing in Civil Engineering, ASCE, 2000.

LNEC, 2013. <http://www.lnec.pt> (15/11/2013).

MAYER R. - *Scientific Canadian: Invention and Innovation from Canada's National Research Council*, Raincoast Books, Vancouver, 1999.

MESTRE, R. - *Regras de medição na construção de edifícios - Proposta de modelo para aplicação em Portugal para elementos secundários de cantaria, carpintaria e serralharia*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, 2010.

MILGRAM, P.; TAKEMURA, H.; UTSUMI, A. e KISHINO, F. - *Augmented Reality: A Class of Displays on the Reality-Virtuality Continuum*. Telemanipulator and Telepresence Technologies, vol. 2351 1994.

MONTEIRO, A.; POÇAS MARTINS, J.- *A survey on modeling guidelines for quantity takeoff-oriented BIM-based design*. Automation in Construction, vol. 35, págs. 238-253. 2013.

MRASBUILT, 2014. http://mrasbuilt.com/MAB_BIM_Navis.html (18/02/2014).

MUENSTERER, O. J.; LACHER, M.; ZOELLER, C.; BRONSTEIN, M. e KÜBLER, J. - *International Journal of Surgery*, online 15 Fevereiro, págs 1-9, 2014.

NAVON, R. - *Research in automated measurement of project performance indicators*. Automation in Construction, vol. 16, nº 2, págs. 176-188. 2007.

NAVON, R. e SACKS, R. - *Assessing research issues in Automated Project Performance Control (APPC)*. Automation in Construction, vol. 16, nº 4, págs. 474-484. 2007.

NBN B 06-001 – *Mesurage dans le bâtiment. Méthods de mesurage de quantités*. Maio 1982.

NUCLEOUS6D, 2014. <http://www.nucleus6d.com/index2.htm> (18/01/2014).

NUMMELIN, J.; SULANKIVI, K.; KIVINIEMI, M. e KOPPINEN, T. - *Managing Building Information and client requirements in construction supply chain — contractor's view*. Conferência CIB W078-W102, Sophia Antipolis, França, 2011.

OKEIL, A. - *Hybrid Design Environments: Immersive and Non-Immersive Architectural Design*. Journal of Information Technology in Construction – Itcon, vol. 15, págs. 202-216. 2010.

OLIVEIRA, M. - *Potential of Building Information Modeling (BIM) system*. Crc Press-taylor & Francis Group, 2010.

ONBILE, 2014. <http://www.onbile.com/info/augmented-reality-marketing/> (15/02/2014).

PARK, C.-S.; LEE, D.-Y.; KWON, O.-S. e WANG, X. - *A Framework for Proactive Construction Defect Management using BIM, Augmented Reality and Ontology-based Data Collection Template*. Automation in Construction, vol. 33, págs. 61-71. 2012.

PREGO, D. - *Regras de medição na construção de edifícios - Proposta de modelo para aplicação em Portugal para estruturas metálicas*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil, Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, Lisboa, 2012.

ROYAL INSTITUTION OF CHARTERED SURVEYORS - *Building Maintenance: Strategy, Planning and Procurement*, Londres, 2009.

REDONDO E.; FONSECA D.; SÁNCHEZ, A. e NAVARRO, I. - *New Strategies Using Handheld Augmented Reality and Mobile Learning-teaching Methodologies, in Architecture and Building Engineering Degrees*, Procedia Computer Science, págs 52-61, vol. 25, 2013.

ROBERTS, G.; EVANS, A.; DODSON, A.; DENBY, B.; COOPER, S. e HOLLANDS, R. - *The use of augmented reality, GPS and INS for subsurface data visualisation*. In : Internacional Congress - Integration of Techniques 2002.

RUDI.NET, 2014. <https://www.rudi.net/node/20641> (07/01/2014).

SATTINENI, A. E BRADFORD - *Estimating with BIM: a survey of US construction companies*. <http://www.iaarc.org/publications/fulltext/S16-6.pdf>. 2011.

SCHALL, G.; MENDEZ, E.; KRUIJFF, E.; VEAS, E.; Junghanns, S.; Reitingner, B. e Schmalstieg, D. - *Handheld augmented reality for underground infrastructure visualization*. Personal and Ubiquitous Computing, Special Issue on Mobile Spatial Interaction, vol. 13, págs. 281–291. 2009.

SCHOOLHUB, 2014. <http://schoolhub.educonnected.com/blog/augmented-reality-in-education/> (6/03/2014).

SEYEDHOSEINI, S.M.; NOORI, S. e HATEFI, M.A - *An integrated methodology for assessment and selection of the project risk response actions*. Risk Analysis, vol. 29, págs. 752–763. 2009.

SIQUEIRA, 2000. <http://www.lem.ep.usp.br/Pef411/~Marcel%20Abe/Ms%20Project98.htm> (15/01/2014).

SQUIRE, K. e KLOPFER, E. - *Augmented reality simulations on handheld computers*. Journal of the Learning Sciences, nº 16, vol. 3, págs. 371–413, 2007.

STAUB-FRENCH, S. e FISCHER, M. - *Formalisms and mechanisms needed to maintain cost estimates based on an IFC product model*. 8th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, Stanford. (<http://www.civil.ubc.ca/people/faculty/ssf/icccbe8.pdf>). 2000.

STYLIADIS, A.D. - *Digital documentation of historical buildings with 3-D modeling functionality*. Automation in Construction, vol. 16, págs. 498–510. 2007.

TALMAKI, S.A.; DONG, S. e KAMAT, V.R. - *Geospatial Databases and Augmented Reality Visualization for Improving Safety in Urban Excavation Operations*. Construction Research Congress, Banff, Alberta, Canada, 2010.

TIWARI, S.; ODELSON, J.; WATT e A.; KHANZODE, A. – 2009. <http://www.aecbytes.com/buildingthefuture/2009/ModelBasedEstimating.html> (12/01/2014).

THE ROYAL INSTITUTION OF CHARTERED E CONFEDERATION SURVEYORS, *The Building Employers. Standard Method of Mesurement of Building Works 7th edition*. 1992.

UNDERWOOD, J. e ALSHAWI M. - *Forecasting building element maintenance within an integrated construction environment*. Automation in Construction, vol. 9, nº 2, Págs. 169–184, 2000.

VANLANDE, R.; NICOLLE, C. e CRUZ, C. - *IFC and building lifecycle management*. Automation in Construction, vol. 18, págs. 70-78. 2008.

VOLK, R.; STENGEL, J. e SCHULTMANN F. - *Building Information Modeling (BIM) for existing buildings — Literature review and future needs*. Automation in Construction, vol. 38, Págs 109-127, 2014.

WANG, H.; ZHANG, J.; CHAU, K. e ANSON, M. - *4D dynamic management for construction planning and resource utilization*. Automation in Construction, vol. 13, nº 5, págs. 575-589. 2004.

WANG, L.-C e LIN, Y.-C. e LIN, P.H. - *Dynamic mobile RFID-based supply chain control and management system in construction* - Advanced Engineering Informatics 21, págs. 377–390. 2007.

WANG, X. e DUNSTON, P.S. - *Potential of augmented reality as an assistant viewer for computer-aided drawing*. Journal of Computing in Civil Engineering, vol. 20, nº 6, págs. 437–441. 2006.

WANG, X.; LOVE, P.; KIM, M.; PARK, C.-S.; SING, C. e HOU, L. - *A conceptual framework for integrating building information modeling with augmented reality*. Automation in Construction, vol. 34, págs. 37-44. 2012.

WANG X.; KIM M.; LOVE, P. E KANG S. –C. - *Automation in Construction*, Vol. 32, Págs. 1-13, 2013.

WANG, X.; TRUIJENS, M.; HOU, L.; WANG, Y. e ZHOU, Y. - *Integrating Augmented Reality with Building Information Modeling: Onsite construction process controlling for liquefied natural gas industry*. Automation in Construction, vol. 40, págs. 96-105. 2014.

WEBSTER, A.; FEINER, S.; MACINTYRE, B.; MASSIE, W. e KRUEGER, T. - *Augmented Reallity in architectural construction, inspection and renovation*. In : Proc. ASCE Third Congress on Computing in Civil Engineering, 1996.

WU, H.-K.; LEE, S.; CHANG, H.-Y. e LIANG, J.-C. - *Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education*. Computers & Education, vol. 62, págs 41-49 ,Março, 2013.

YANG, Z. e WANG, G. - *Cooperation between Building Information Modeling and Integrated Project Delivery Method Leads to Paradigm Shift of AEC Industry*. Management and Service Science - International Conference, págs. 1-4. 2009.

YOUNG, N.; JONES, S.; BERNSTEIN, H. e GUDGEL, J. - *The Business Value of BIM - Getting Building Information Modeling to the Bottom Line*. McGraw Hill Construction, 2009.

ZHANG, J.; ZHANG, Y.; HU, Z. e LU, M. - *Construction Management Utilizing 4D CAD and Operations Simulation Methodologies*. Tsinghua Science & Technology, vol. 13, nº Supplement 1, págs. 241-247. 2008.

ZHANG, X.; BAKIS, N., LUKINS, T. C.; IBRAHIM, Y. M.; WU, S.; KAGIOGLOU, M.; AOUD, G.; KAKA, A. P. e TRUCCO, E. - *Automating progress measurement of construction projects*. Automation in Construction, vol. 18, págs. 294-301. 2009.

ZHANG, Y. e FAN, Z. P. - *An optimization method for selecting project risk response strategies*. International Journal of Project Management, vol. 32, págs 412-422. 2014.

